编号：ZFHK-FB22220054-2

核技术利用建设项目

江南大学附属医院^{90}Y肿瘤治疗项目

环境影响报告表

（公示稿）

江南大学附属医院

2023年1月

生态环境部监制

核技术利用建设项目

江南大学附属医院^{90}Y肿瘤治疗项目

环境影响报告表

建设单位名称：江南大学附属医院

建设单位法人代表（签名或签章）：

通讯地址：江苏省无锡市滨湖区和风路 1000 号

邮政编码：214000　　联系人 [redacted]

电子邮箱 [redacted]　　联系电话 [redacted]

目录

表 1 项目基本情况 1
表 2 放射源 12
表 3 非密封放射性物质 12
表 4 射线装置 13
表 5 废弃物（重点是放射性废弃物） 14
表 6 评价依据 15
表 7 保护目标与评价标准 19
表 8 环境质量和辐射现状 26
表 9 项目工程分析与源项 42
表 10 辐射安全与防护 51
表 11 环境影响分析 67
表 12 辐射安全管理 81
表 13 结论与建议 88
表 14 审批 91

表 1 项目基本情况

<table>
<tr><td colspan="2">建设项目名称</td><td colspan="6">江南大学附属医院 ^{90}Y 肿瘤治疗项目</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设单位</td><td colspan="6">江南大学附属医院</td></tr>
<tr><td colspan="2">法人代表</td><td>[redacted]</td><td>联系人</td><td>[redacted]</td><td>联系电话</td><td colspan="2">[redacted]</td></tr>
<tr><td colspan="2">注册地址</td><td colspan="6">江苏省无锡市滨湖区惠河路 200 号</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目建设地点</td><td colspan="6">江苏省无锡市滨湖区和风路 1000 号江南大学附属医院（南院区）</td></tr>
<tr><td colspan="2">立项审批部门</td><td colspan="2">/</td><td>批准文号</td><td colspan="3">/</td></tr>
<tr><td colspan="2">建设项目总投资（万元）</td><td>100</td><td>项目环保投资（万元）</td><td>12</td><td>投资比例（环保投资/总投资）</td><td>12%</td></tr>
<tr><td colspan="2">项目性质</td><td colspan="3">☐新建 ☐改建 ☑扩建 ☐其它</td><td>占地面积(m^2)</td><td>/</td></tr>
<tr><td rowspan="9">应用类型</td><td rowspan="2">放射源</td><td>☐销售</td><td colspan="5">☐I类 ☐II类 ☐III类 ☐IV类 ☐V类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐I类（医疗使用） ☐II类 ☐III类 ☐IV类 ☐V类</td></tr>
<tr><td rowspan="3">非密封放射性物质</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐制备 PET 用放射性药物</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">/</td></tr>
<tr><td>☑使用</td><td colspan="5">☑乙 ☐丙</td></tr>
<tr><td rowspan="3">射线装置</td><td>☐生产</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☐销售</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>☐使用</td><td colspan="5">☐II类 ☐III类</td></tr>
<tr><td>其他</td><td colspan="6">/</td></tr>
</table>

1.1 项目概述

1.1.1 建设单位概况

江南大学附属医院为国家 211、双一流大学江南大学直属附属医院，是市委、市政府优化“健康无锡”战略布局和深化“市校共建”项目整合原市三院、市四院建立的一所集医疗、教育、科研、预防、保健、康复为一体的大型现代化三级甲等综合性医院。医院位于江南福地无锡，比邻江南大学，设南北两个院区，专科设置齐全，人才梯队合理，医疗设备精良，床位总规模 2210 张，员工近 3000 名，博士 151 名，正副教授 187 名，硕博士导师 97 名。医院围绕“勇做无锡医疗卫生事业改革发展领头雁”目标定位，以人才建设、科教创新、“互联网+”技术为支撑，努力建设“国内一流、省内领先、特色鲜明的研究型医院”。

医院为国家创伤区域医疗中心建设单位，设有创面修复技术教育部工程研究中心、江苏省烧伤紧急医学救治中心、江苏省烧伤诊疗中心、江苏省中西医结合烧伤诊疗中心、上海分子影像学重点实验室临床转化中心、无锡市肿瘤研究所、无锡市转化医学研究所、无锡市中西医结合研究所、无锡市烧伤研究所、无锡市肝胆外科研究所，无锡市有毒物质救治中心，无锡市核医学诊疗中心、无锡市肿瘤疾病诊疗中心、无锡市肿瘤筛查技术指导中心、无锡市临床医学中心，拥有盛志勇、付小兵、阮长耿、李兆申 4 个国家级院士工作站，并与美国杜克大学肿瘤研究所建立“姊妹医院”。

医院共有两个院区，分别位于江苏省无锡市滨湖区惠河路 200 号（北院区，医院注册地）和江苏省无锡市滨湖区和风路 1000 号（南院区，本项目拟建地）。

医院目前已取得江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证[00290]，许可种类和范围为“使用III类、V 类放射源；使用II类、III类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”，有效期至 2027 年 11 月 10 日。医院辐射安全许可证件见附件 3。

1.1.2 建设目的和任务由来

为拓展核医学诊疗内容，满足不同患者的诊疗需求，进一步优化医疗资源布局，增加优质医疗资源供给，江南大学附属医院拟依托核医学中心楼 1 层核医学科、门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1 及相关用房和病房楼 3 层东侧病房 17（原为 ^{125}I 患者住院病房，现调整为 ^{90}Y 患者专用病房）开展 ^{90}Y 肿瘤治疗项目，并新增使用核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc（医院核医学中心楼 1 层核医学科现已使用核素 ^{99m}Tc，对于核医学科为新增使用核素 ^{90}Y，增加核素 ^{99m}Tc 使用量；对于 DSA 机房 1，为新增使用核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc；对于 ^{90}Y 患者专用病房，仅住院，不涉及使用核素）。根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，本项目核医学科工作场所非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.44×10^{8}Bq，本项目 DSA 机房非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.01×10^{7}Bq，均为乙级非密封放射性物质工作场所。

为加强辐射环境管理，防止放射性污染和意外事故的发生，确保非密封放射性物质和射线装置的使用不对周围环境和公众产生不良影响，根据《中华人民共和国环境保护法》、《中华人民共和国环境影响评价法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等的规定，本项目在实施前须进行环境影响评价。根据《建设项目环境影响评价分类管理名录》（2021 年版）的有关规定的要求，本项目属于“五十五、核与辐射”中“172、

核技术利用建设项目—乙级非密封放射性物质工作场所”，环评类别为环境影响报告表。为此，江南大学附属医院委托中辐环境科技有限公司开展“江南大学附属医院 ^{90}Y 肿瘤治疗项目（以下简称‘本项目’）”的环境影响评价工作。评价单位在现场踏勘和收集有关资料的基础上，并结合项目特点，按照《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）等规定要求编制了本环评报告表，供生态环境行政主管部门审查。

1.1.3 项目建设内容和规模

医院拟于核医学中心楼 1 层核医学科和门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1 及相关用房内新增使用核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 用于开展肿瘤治疗项目。本项目不新增用房，依托现有的核医学科 SPECT/CT 室 1、控制室、SPECT/CT 分装注射服药室和放射科 DSA 机房 1、DSA 机房操作室、无菌物品库形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所用于开展肿瘤治疗项目，并将病房楼 3 层东侧病房 17（原为 ^{125}I 患者住院病房）作为本项目 ^{90}Y 患者专用病房。

本项目使用的^{99m}Tc为单支药物，单支活度为$1.48\times10^{8}Bq$，医院不开展分装；^{90}Y的购入活度为$3.0\times10^{9}Bq$，需根据患者需求在SPECT分装注射服药室内分装、测量活度。在手术前，将分装、测量活度后的核素运至放射科DSA机房1内，DSA机房1内^{99m}Tc核素最大送药量为$1.48\times10^{8}Bq$、^{90}Y核素最大送药量为$2\times10^{9}Bq$。核素^{90}Y和^{99m}Tc需依托放射科DSA机房1内DSA进行导管注射，^{90}Y核素术后复查和^{99m}Tc核素显像诊断需依托核医学科SPECT/CT室1内进行SPECT/CT显像扫描。

本项目依托的核医学科以及 SPECT/CT 室 1 内 SPECT/CT 位于核医学中心楼 1 层，放射科 DSA 机房 1 内 DSA 位于门诊医技楼 1 层，均已通过环评审批并取得批复（苏环辐（表）审[2019]30 号），于 2023 年 1 月完成自主验收。

本项目依托使用的射线装置情况见表 1-1。

表 1-1　本项目依托射线装置使用情况

序号	名称	型号	数量(台)	类别	主要参数		使用位置	备注
					最大管电压	最大管电流		
1	DSA	UNIQ Clarity FD20	1	II类	125kV	1000mA	门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1	2023 年 1 月自主验收
2	SPECT/CT	symbia intevo 6	1	III类	130kV	345mA	核医学中心楼 1 层核医学科	

医院每周安排 2 位患者开展肿瘤治疗项目，每天最多安排 1 名肿瘤患者进行 ^{99m}Tc

核素肿瘤治疗前显像诊断。SPECT 分装注射服药室内进行 ^{99m}Tc 核素的测量活度，DSA 机房 1 内进行 ^{99m}Tc 核素导管注射，在 SPECT/CT 室 1 内进行 ^{99m}Tc 核素显像诊断，^{99m}Tc 核素肿瘤治疗前诊断每人次最大用药量为 1.48×10^{8}Bq，则 ^{99m}Tc 日最大操作量为 1.48×10^{8}Bq；每天最多安排 1 名肿瘤患者进行 ^{90}Y 核素肿瘤治疗，^{90}Y 核素的购入活度为 3.0×10^{9}Bq，^{90}Y 核素肿瘤治疗时，SPECT 分装注射服药室内进行 ^{90}Y 核素的分装、测量活度，DSA 机房 1 内进行 ^{90}Y 核素导管注射，在 SPECT/CT 室 1 内进行 ^{90}Y 核素术后复查扫描。^{90}Y 核素肿瘤治疗每人次最大用药量为 2×10^{9}Bq，则 ^{90}Y 日最大操作量为 2×10^{9}Bq。本项目非密封放射性物质使用情况见表 1-2。

表 1-2　非密封放射性物质使用情况表

工作场所	核素	单人最大用药量	日最大门诊量	日最大操作量	年最大门诊量	年最大用量	用途
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（放射科 DSA 机房 1）	^{90}Y	2×10^{9}Bq	1 人	2×10^{9}Bq	100 人	2×10^{11}Bq	肿瘤治疗
	^{99m}Tc	1.48×10^{8}Bq	1 人	1.48×10^{8}Bq		1.48×10^{10}Bq	肿瘤治疗前显像诊断
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（核医学科）	^{90}Y	3×10^{9}Bq	1 人	3×10^{9}Bq	100 人	3×10^{11}Bq	肿瘤治疗
	^{99m}Tc	1.48×10^{8}Bq	1 人	1.48×10^{8}Bq		1.48×10^{10}Bq	肿瘤治疗前显像诊断

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）：医疗机构使用 ^{99m}Tc 相关活动视为“很简单的操作”。

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）：可将医疗机构 ^{90}Y 核素介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单操作”。

经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见表 1-3。

表 1-3　本项目放射性药物日等效最大操作量计算表

工作场所	核素名称	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日最大操作量	计划日等效最大操作量	分级
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（放射科 DSA 机房 1）	^{90}Y	0.1	10（很简单操作）	2×10^{9}Bq	2×10^{7}Bq	乙级
	^{99m}Tc	0.01	10（很简单操作）	1.48×10^{8}Bq	1.48×10^{5}Bq	
	合计				2.01×10^{7}Bq	
^{90}Y 肿瘤治疗项目工	^{90}Y	0.1	10（很简单操作）	3×10^{9}Bq	3×10^{7}Bq	乙级
	^{99m}Tc	0.01	10（很简单操作）	1.48×10^{8}Bq	1.48×10^{5}Bq	

作场所（核医学科）	合计	3.01×10^{7}Bq	
注：本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（放射科 DSA 机房 1）日等效最大操作量为 2.01×10^{7}Bq，出现的情况为后一批 1 名肿瘤患者进行 ^{99m}Tc 核素肿瘤治疗前显像诊断与前一批 1 名肿瘤患者进行 ^{90}Y 核素肿瘤治疗安排于同一天中；^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（核医学科）同理。			

核素 ^{90}Y 的分装、测量活度和 ^{99m}Tc 的测量活度均需在核医学科内进行，纳入核医学科内管理，核医学科原非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.14×10^{8}Bq，新增使用核素 ^{90}Y 及增加核素 ^{99m}Tc 使用量后，核医学科非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.44×10^{8}Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，仍为乙级非密封放射性物质工作场所。

核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 的注射需在放射科 DSA 机房 1 及其配套用房内进行，因此将 DSA 机房 1 及其配套用房作为非密封放射性物质工作场所管理。DSA 机房 1 及其配套用房非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.01×10^{7}Bq，根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，为乙级非密封放射性物质工作场所。

本项目放射性核素通过外购获得，医院应做到：在项目建成运行前确定放射性核素的出售单位，签订相关供货协议，确保售出单位有完善的环保手续和生产、销售的相关资质及许可，并且在今后项目投入运行后继续严格执行放射性核素来源的合法、合规管理。

1.1.4 人员配置

根据医院提供信息，门诊医技楼 1 层放射科 2 间 DSA 机房及其配套用房配置 29 名辐射工作人员，其中手术室医生 17 人，护士 6 人，技师 6 人。DSA 机房配置的工作人员总共分为 6 组，每间机房 3 组工作人员。每台手术配备 2 名手术医生，1 名护士，1 名技师。本项目 DSA 机房的年手术台数不超过 900 台，每组医生本项目的年手术量不超过 300 台。

核医学中心楼 1 层核医学科配置辐射工作人员 20 名，其中 SPECT 分装注射服药室内负责药物分装、注射护士 7 人，SPECT/CT 室和控制室内负责摆位和扫描技师 4 人，医生 9 人。

本项目不新增用房和辐射工作人员，依托核医学科和放射科 DSA 机房 1 及其配套用房以及核医学科和放射科 DSA 机房 1 原有辐射工作人员开展肿瘤治疗项目。则本项目肿瘤治疗项目相关辐射工作人员配备情况表见表 1-4。

表 1-4　本项目相关辐射工作人员配备情况表

序号	工作场所	人员	人数	岗位
1	^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所	放射科医护人员	共 3 组，每台手术配备 2 名手术医生，1 名护士	DSA 机房 1
2		DSA 技师	3 人	DSA 操作室
3		核医学科护士	7 人	SPECT 分装注射服药室
4		SPECT/CT 技师	2 人	SPECT 控制室
5		核医学科医生	9 人	SPECT/CT 室 1

本项目辐射工作人员均从在岗核医学科和放射科工作人员中调配，兼任原核医学科、放射科和本项目工作，现有辐射工作人员均已在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格。根据《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》（生态环境部公告 2019 年第 57 号），本项目辐射工作人员应在生态环境部辐射与防护培训平台参加培训并考核合格后方可上岗，并按时接受再培训。本项目辐射工作人员培训情况、个人剂量监测结果和上岗证书如附件 11 所示。

1.2 项目选址及周边环境保护目标

1.2.1 医院地理位置

江南大学附属医院分为南、北两个院区，本项目拟建于南院区，位于江苏省无锡市滨湖区和风路 1000 号。项目地理位置见附图 1。

江南大学附属医院南院区被前杨道分为东西两个部分，东部主要为肿瘤中心综合楼、核医学中心楼和待建规划楼，西部主要为门诊医技楼、病房楼和食堂。江南大学附属医院南院区东侧为万顺道；南侧为和风路，隔路为北庄村；西侧为蠡湖大道，隔路为江南大学；北侧为蠡湖。项目地理位置见附图 1，项目周边环境见附图 2。

1.2.2 项目周边环境关系

本项目依托核医学科和放射科 DSA 机房 1 及其配套用房形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所并开展肿瘤治疗项目，并将病房楼 3 层东侧病房 17 作为本项目 ^{90}Y 患者专用病房。本项目核医学科位于核医学中心楼地上 1 层，核医学中心楼位于医院南院区的东部，为独栋建筑；本项目涉及 DSA 机房 1 及其配套用房位于门诊医技楼地上 1 层，门诊医技楼位于医院南院区西部，为独栋建筑；本项目 ^{90}Y 患者专用病房位于病房楼地上 3 层，病房楼位于医院南院区东部，为独栋建筑。

（1）核医学中心楼周边环境关系

核医学中心楼东侧为院内绿化园林和休闲广场；南侧待建规划楼；西侧为非机动车停车场和下沉广场；北侧为肿瘤中心综合楼。

核医学科边界东侧距离院内绿化园林最近约 8m，距离休闲广场最近约 35m；南侧距离待建规划楼最近约 51m；西侧距离非机动车停车场最近约 30m，距离下沉广场最近约 40m；北侧距离肿瘤中心综合楼最近约 22m。核医学科工作场所边界 50m 范围内主要为医院内部建筑物、道路及绿化。

（2）门诊医技楼周边环境关系

门诊医技楼东侧为前杨道（院外道路）；南侧为人行广场和院区主入口；西侧为院内绿化园林；北侧为病房楼。

放射科 DSA 机房 1 边界东、南侧均为门诊医技楼内部；西侧距离院内绿化园林最近约 50m；北侧距病房楼最近约 70m。DSA 机房 1 边界 50m 范围内主要为医院内部建筑物、道路及绿化。

（3）病房楼周边环境关系

病房楼东侧为非机动车停车场、前杨道；南侧为门诊医技楼；西侧为院内停车场；北侧为院内绿化园林和食堂。

本项目 ^{90}Y 患者专用病房边界东侧距离非机动车停车场最近约 3m，距离前杨道最近约 25m；南侧距离门诊医技楼最近约 35m；西侧为病房楼内部；北侧距离食堂最近约 65m。本项目 ^{90}Y 患者专用病房边界范围内主要为医院内部建筑物、道路及绿化，部分涉及院外道路。

根据《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ 10.1-2016）的相关规定，确定以本项目辐射工作场所边界外 50m 范围作为评价范围。根据现场调查分析可知，本次评价项目实体边界外 50m 范围内主要为医院内部建筑、道路、绿化及院外道路，不涉及居民区、自然保护区、保护文物、风景名胜区、水源保护区等环境敏感点。因此，本项目保护目标主要为本项目辐射工作人员以及评价范围内的其他医护工作人员、患者、家属。

1.2.3 选址合理性分析

本项目核医学中心楼位于医院南院区东部，为独栋建筑，1 层为核医学科，2 层为 ^{131}I 治疗中心，负 1 层为放疗科及相关科室办公用房。门诊医技楼和病房楼位于医院南院区

西部，均为独栋建筑。核医学中心楼 1 层核医学科、门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1 和病房楼 3 层病房 17 均有相对独立、明确的监督区和控制区划分，^{90}Y 肿瘤治疗项目工艺流程连续完整，核医学科、放射科 DSA 机房 1、病房 17 均有相对独立的辐射防护措施。本项目不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。

本项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学科选址的要求，本项目工作场所选址合理。

1.3 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用，对照《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修订）和《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012年本）》（2013年修正），本项目不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家和江苏省现行的产业政策。

1.4 实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在核素治疗过程中，对非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对非密封放射性物质的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目产生的辐射给职业人员、公众及社会带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

1.5“三线一单”相符性分析

本项目评价范围内不涉及国家公园、自然保护区、风景名胜区、世界文化和自然遗产地、海洋特别保护区、饮用水水源保护区等环境敏感区。对照《江苏省国家级生态保护红线规划》（苏政发〔2018〕74 号)、《江苏省生态空间管控区域规划》（苏政发〔2020〕1 号），本项目评价范围内不涉及江苏省国家级生态保护红线、江苏省生态空间管控区域；根据现场监测和环境影响预测，项目建设满足环境质量底线要求，不会造成区域环境质量下降；本项目对资源消耗极少，不涉及违背生态环境准入清单的问题。根据《江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案》（苏政发〔2020〕49 号），本项目拟建址评价范

围内不涉及江苏省内优先保护单元。因此本项目的建设符合江苏省“三线一单”生态环境分区管控要求。

1.6 原有核技术利用项目许可情况

1.6.1 原有核技术利用项目许可情况

医院目前已取得江苏省生态环境厅颁发的辐射安全许可证，证书编号为苏环辐证[00290]，许可种类和范围为“使用III类、V 类放射源；使用II类、III类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级、丙级非密封放射性物质工作场所”，有效期至 2027 年 11 月 10 日。医院辐射安全许可证件见附件 3。

许可内容包含使用 1 枚III类 ^{192}Ir 放射源（后装治疗），3 枚 V 类 ^{68}Ge 校验源；核医学科使用 ^{18}F、^{15}O、^{13}N、^{11}C（以上 4 种核素由回旋加速器制备）、^{89}Zr、^{201}Tl、^{99m}Tc、^{89}Sr、^{153}Sm、^{188}Re、^{32}P、^{131}I、^{125}I、^{68}Ga、^{67}Ga 的乙级非密封工作场所，使用 ^{14}C 的丙级非密封工作场所；使用回旋加速器 1 台、直线加速器 4 台、DSA5 台以及 CT 等III类射线装置 38 台。

1.6.2 原有核技术利用项目运行情况、辐射防护和监测情况

医院严格遵守《中华人民共和国放射性污染防治法》和《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》等相关辐射防护法律、法规，配合各级生态环境部门监督和指导，辐射防护设施运行、维护、检测工作良好，在辐射安全和防护制度的建立、落实以及档案管理等方面运行良好。

医院辐射工作场所设有电离辐射警示标志和工作状态指示灯，各机房通风良好，屏蔽防护措施满足要求；各机房设置铅玻璃观察窗，能清楚观察到机房内情况；控制室和机房之间设置对讲装置，方便医务人员和受检者沟通；各机房周围辐射水平符合相关标准规定的要求。由现场调查情况可知，医院已采取相应的辐射防护措施，本次环评认为医院辐射防护措施以及管理制度满足目前辐射防护要求。

另外，医院为受检者配备了相应的放射防护用品，如铅橡胶围裙、铅橡胶颈套等，医院现有射线装置已委托有资质的单位进行年度监测，并编制监测报告，现有射线装置未对放射性工作场所外周围环境造成放射性影响，机房周边辐射剂量率符合满足《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准的要求。

1.6.3 医院原有核技术利用项目管理情况

（1）辐射安全防护管理机构

根据相关法律、法规、规范的要求，医院已成立医院辐射安全与环境保护管理领导小组，并明确了成员职责。

（2）辐射工作制度

医院已制定了《辐射安全事故应急预案》、《放射防护管理制度》、《放射人员培训、个人剂量、辐射环境监测管理制度》、《放射性废物管理制度》、《个辐射防护和安全保卫制度》、《放射工作人员职责》等综合规章管理制度。已有管理制度较健全，基本能够满足原有辐射防护管理需要。

（3）辐射安全与防护培训情况

医院拥有较稳定的放射诊疗技术队伍，现有辐射工作人员均参加辐射防护与安全培训，保证所有辐射工作人员持证上岗。医院应组织辐射工作人员按时接受再培训。

（4）个人剂量监测及职业健康体检情况

辐射工作期间，要求辐射工作人员佩戴个人剂量计，建立剂量健康档案并终生存档保存，个人剂量计最长不超过 90 天送检一次。医院开展了辐射工作人员剂量监测，现有辐射工作人员个人剂量监测报告见附件 9。由监测报告结果可以看出：个人剂量剂均为完好状态，2021 年 6 月~2022 年 6 月连续四个季度的辐射工作人员个人剂量监测结果显示，医院辐射工作人员个人剂量监测结果符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中对辐射工作人员要求的剂量限值，即年剂量约束值 5mSv。

医院已为辐射工作人员进行了上岗前和在岗期间的职业健康检查，体检结果表明现有辐射工作人员可继续放射工作。

（5）辐射工作场所情况

医院现有辐射工作场所设置有电离辐射警告标志、报警装置和工作状态指示灯等。根据放射诊断不同项目实际情况，医院划分有辐射防护控制区和监督区，并采取了分区管理，进行了积极、有效的管控。

现有辐射设备辐射安全防护措施在竣工验收时已进行查验，通过环保验收，且每年均进行检查并委托有资质单位进行场所检测，近三年监测结果均满足标准要求，医院现有辐射工作场所辐射安全防护措施满足要求。

（6）工作场所检测

医院每年定期委托有资质的单位对辐射工作场所和设备性能进行年度监测，根据建设单位提供的监测报告，各辐射工作场所监测结果均满足相关标准要求，医院现已采取

的辐射工作场所防护措施能够满足已开展辐射活动的辐射安全防护要求。

（7）辐射应急演练和年度评估

医院已制定《辐射安全事故应急预案》（见附件 8），定期开展辐射事故应急演练，并对演练结果进行总结，并及时对辐射事故应急预案进行完善和修订。经与医院核实，自辐射活动开展以来，未发生过辐射事故。

医院执行有年度评估制度，编制有《辐射安全和防护状况年度评估报告》，医院对现有射线装置辐射工作场所防护状况、人员培训及个人剂量、射线装置台账、辐射安全与防护制度执行情况等进行年度总结和评估，并及时提交至发证机关。

1.6.4 现有核技术利用存在的问题

医院应根据人员变动及场所变动情况对现有辐射安全管理制度及时进行修订；医院应及时组织新增辐射工作人员参加辐射防护与安全培训，并按规定为新增辐射工作人员组织上岗前和在岗期间的职业健康检查。

表 2 放射源

序号	核素名称	总活度（Bq）/ 活度（Bq）×枚数	类别	活动种类	用途	使用场所	贮存方式与地点	备注
	以下空白							

注：放射源包括放射性中子源，对其要说明是何种核素以及产生的中子流强度（n/s）。

表 3 非密封放射性物质

序号	核素名称	理化性质	活动种类	实际日最大操作量（Bq）	日等效最大操作量（Bq）	年最大用量（Bq）	用途	操作方式	使用场所	贮存方式与地点
1	^{90}Y	液态/中毒/半衰期 2.67d	使用	3×10^{9}	3×10^{7}	3×10^{11}	肿瘤治疗	很简单操作	核医学中心楼 1 层核医学科	由医院根据实际使用量订购，供药厂家派专人运送，运输来的药物连同铅罐包装放置于核医学科 SPECT 分装注射服药室内的源库内。
2	^{99m}Tc	液态/低毒/半衰期 6.02h	使用	1.48×10^{8}	1.48×10^{5}	1.48×10^{10}	肿瘤治疗前显像诊断	很简单操作		
3	^{90}Y	液态/中毒/半衰期 2.67d	使用	2×10^{9}	2×10^{7}	2×10^{11}	肿瘤治疗	很简单操作	门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1	
4	^{99m}Tc	液态/低毒/半衰期 6.02h	使用	1.48×10^{8}	1.48×10^{5}	1.48×10^{10}	肿瘤治疗前显像诊断	很简单操作		

注：日等效最大操作量和操作方式见《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）。

表 4 射线装置

（一）加速器：包括医用、工农业、科研、教学等用途的各种类型加速器

序号	名称	类别	数量	型号	加速粒子	最大能量（MeV）	活动种类	额定电流（mA）/剂量率（Gy/h）	用途	工作场所	备注
	以下空白										

（二）X 射线机，包括工业探伤、医用诊断和治疗、分析等用途

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大管电流（mA）	用途	工作场所	备注
1	DSA	II类	1	UNIQ Clarity FD20	125kV	1000mA	放射诊疗	门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1	利旧
2	SPECT/CT	III类	1	symbia intevo 6	130kV	345mA	放射诊疗	核医学中心楼 1 层核医学科 SPECT/CT 室 1	利旧

（三）中子发生器，包括中子管，但不包括放射性中子源

序号	名称	类别	数量	型号	最大管电压（kV）	最大靶电流（μA）	中子强度(n/s)	用途	工作场所	氚靶情况			备注
										活度（Bq）	贮存方式	数量	
	以下空白												

表 5 废弃物（重点是放射性废弃物）

名称	状态	核素名称	活度	月排放量	年排放总量	排放口浓度	暂存情况	最终去向
放射性固废（DSA 机房 1、核医学和住院病房）	固态	^{99m}Tc	/	/	300kg	≤1×10^{5}Bq	核医学科 SPECT 分装注射服药室和 SPECT/CT 室 1、放射科 DSA 机房 1、本项目 ^{90}Y 患者专用病房均设置 1 个脚踏式铅废物桶，核医学科污物暂存处置室设置 1 个铅衰变箱。	含 ^{99m}Tc 放射性废物暂存超过 30 天，含 ^{90}Y 放射性废物暂存超过十个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，作为医疗废物委托有资质单位处置。
		^{90}Y						
放射性固废（核医学科）	液态	^{90}Y	1×10^{9}Bq	/	/			

注：1、常规废弃物排放浓度，对于液态单位为 mg/L，固体为 mg/kg，气态为 mg/m^3；年排放总量用 kg。

2、含有放射性的废物要注明：其排放浓度、年排放总量分别用比活度（Bq/L 或 Bq/kg 或 Bq/m^3）和活度（Bq）。

表 6 评价依据

法规文件	（1）《中华人民共和国环境保护法》（中华人民共和国主席令第 9 号，2014 年），自 2015 年 1 月 1 日起施行； （2）《中华人民共和国环境影响评价法》（中华人民共和国主席令第 48 号 2016 年修订，2016 年 9 月 1 日起施行）及《关于修改〈中华人民共和国劳动法〉等七部法律的决定》（第十三届全国人民代表大会常务委员会第七次会议，2018 年 12 月 29 日）； （3）《中华人民共和国放射性污染防治法》（中华人民共和国主席令第 6 号，2003 年），自 2003 年 10 月 1 日起实施； （4）《建设项目环境保护管理条例》（中华人民共和国国务院令第 682 号，2017 年），自 2017 年 10 月 1 日起施行； （5）《建设项目环境影响评价分类管理名录（2021 年版）》（中华人民共和国生态环境部令第 16 号），自 2021 年 1 月 1 日起施行； （6）《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430 号）； （7）《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》（2021 年修订），2021 年 1 月 4 日经《关于废止、修改部分生态环境规章和规范性文件的决定》（生态环境部令第 20 号）修改； （8）《关于建立放射性同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发[2006]145 号，原国家环保总局、公安部、卫生部文件），自 2006 年 9 月 26 日起施行； （9）《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》（原环境保护部令第 18 号），2011 年 5 月 1 日实施； （10）《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号，2012 年），自 2012 年 3 月 1 日起施行； （11）《关于发布<放射性废物分类>的公告》，环境保护部、工业和信息化部、国家国防科技工业局公告 2017 年第 65 号，自 2018 年 1 月 1 日起施行； （12）《产业结构调整指导目录（2019 年本）》（2021 年修订），中华人民共和国国家发展和改革委员会令第 49 号，自 2021 年 12 月 30 日起施行；

	（13）《关于核技术利用辐射安全与防护培训和考核有关事项的公告》，生态环境部公告 2019 年第 57 号，2019 年 12 月 24 日印发； （14）《江苏省辐射污染防治条例》（2018 年修正），江苏省人大常委会公告第 2 号，自 2018 年 5 月 1 日起施行； （15）《江苏省生态环境厅关于印发辐射安全许可证办理等工作程序和规范的通知》（苏环规〔2019〕4 号），江苏省生态环境厅，2019 年 11 月 19 日印发； （16）《省政府关于印发江苏省国家级生态保护红线规划的通知》（苏政办[2018]74 号），江苏省人民政府，2018 年 6 月 9 日发布； （17）《省政府关于印发江苏省生态空间管控区域规划的通知》（苏政发[2020]1 号），江苏省人民政府，2020 年 1 月 8 日发布； （18）《省政府关于印发江苏省“三线一单”生态环境分区管控方案的通知》（苏政发[2020]49 号），江苏省人民政府，2020 年 6 月 21 日发布； （19）《省政府办公厅关于印发江苏省辐射事故应急预案的通知》（苏政办函[2020]26 号），江苏省人民政府办公厅，2020 年 2 月 19 日发布； （20）《关于以改善环境质量为核心加强环境影响评价管理的通知》（环环评[2016]150 号）； （21）《建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法》，生态环境部部令第 9 号，2019 年 11 月 1 日起施行； （22）《关于发布<建设项目环境影响报告书（表）编制监督管理办法>配套文件的公告》，生态环境部公告 2019 年第 38 号，2019 年 10 月 25 日发布； （23）《省生态环境厅关于进一步做好建设项目环境影响报告书（表）编制单位监管工作的通知》，苏环办〔2021〕187 号，2021 年 5 月 28 日发布。
技术标准	（1）《建设项目环境影响评价技术导则总纲》（HJ2.1-2016）； （2）《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）； （3）《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）； （4）《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）； （5）《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ1157-2021）； （6）《表面污染测定第 1 部分：β发射体（$E_{\beta max}$>0.15MeV）和α发射体》

	（GB/T14056.1-2008）； （7）《职业性外照射个人监测规范》（GBZ128-2019）； （8）《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）； （9）《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）； （10）《医疗机构水污染物排放标准》（GB18466-2005）； （11）《操作非密封源的辐射防护规定》（GBZ11930-2010）。
其他	（1）环境影响评价委托书； （2）江南大学附属医院提供的其他资料； （3）《辐射防护手册》（第三分册），李德平、潘自强主编； （4）《放射防护实用手册》，赵兰才、张丹枫主编； （5）《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》； （6）《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》，生态环境部核与辐射安全中心； （7）附图： 附图 1 医院地理位置图 附图 2 项目周边环境关系示意图 附图 3 医院原有核技术利用项目位置示意图 附图 4 门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1 部分平面布置图及人流物流路线图 附图 5 核医学中心楼 1 层平面布置图及人流物流路线图 附图 6 病房楼 3 层平面布置图及人流物流路线图 附图 7 本项目辐射工作场所剖面图 （8）附件 附件 1：委托书 附件 2：事业单位法人证书 附件 3：辐射安全许可证 附件 4：原环评批复、验收意见 附件 5：环境本底监测报告 附件 6：医院辐射安全与环境保护管理领导小组 附件 7：医院现有辐射相关制度

	附件 8：医院辐射安全事故应急预案 附件 9：医院现有辐射工作人员最近一年度的个人剂量监测报告 附件 10：医院辐射工作场所年度检测报告 附件 11：本项目辐射工作人员信息

表 7 保护目标与评价标准

7.1 评价范围

本项目依托核医学科工作用房和放射科 DSA 机房 1 及其配套用房形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所并开展肿瘤治疗项目，并将病房楼 3 层东侧病房 17 作为本项目 ^{90}Y 患者专用病房。结合《辐射环境保护管理导则 核技术利用建设项目 环境影响评价文件的内容和格式》（HJ10.1-2016）的相关规定，因此本次辐射环境评价范围取核医学科、放射科 DSA 机房 1 和本项目 ^{90}Y 患者专用病房的实体屏蔽边界外延 50m 为评价范围，评价范围详见附图 2。

7.2 保护目标

根据现场踏勘情况，本项目辐射工作场所边界外 50m 范围内主要为医院内部建筑、道路及绿化。评价范围内无居住区，文物保护单位，国家公园，自然保护区，风景名胜区，世界文化和自然遗产地，海洋特别保护区，饮用水水源保护区，自然公园，重要湿地，天然林，水土流失重点预防区和重点治理区，沙化土地封禁保护区，封闭及半封闭海域，重要物种的天然集中分布区、栖息地，重要水生生物的产卵场、索饵场、越冬场和洄游通道，迁徙鸟类的重要繁殖地、停歇地、越冬地以及野生动物迁徙通道等生态敏感区和环境敏感区。

本项目环境保护目标为评价范围内从事本项目的辐射工作人员、医院其他非辐射工作人员和公众成员。具体详见表 7-1。

表 7-1 项目环境保护目标一览表

环境保护目标		方位	与场所边界的最近距离（m）		规模	人员类别
			水平	垂直		
核医学科	SPECT 分装注射服药室	内部	0	0	7 人	职业人员
	SPECT/CT 室 1		0	0	9 人	
	控制室		0	0	2 人	
	走廊	东侧	紧邻	0	约 50 人次/天	公众人员
	走廊	北侧	紧邻	0	约 50 人次/天	
	接待厅	楼上	0	4	约 30 人次/天	
	放疗科	楼下	0	4	约 100 人次/天	
	绿化园林	东侧	8	0	约 200 人次/天	
	休闲广场	东侧	35	0	约 200 人次/天	
	待建规划楼	南侧	51	0	约 10 人次/天	
	非机动车停车场	西侧	30	4	约 200 人次/天	

	下沉广场	西侧	40	4	约 1000 人次/天	
	肿瘤中心综合楼	北侧	22	0~50	约 200 人次/天	
	评价范围 50m 内其他公众人员	/	/	/	约 500 人次/天	
放射科 DSA 机房 1	DSA 机房 1	内部	0	0	9 人	职业人员
	DSA 机房操作室		0	0	3 人	
	无菌物品库	东侧	紧邻	0	约 10 人次/天	公众人员
	门诊药房	南侧	紧邻	0	约 20 人次/天	
	患者走廊	北侧	紧邻	0	约 50 人次/天	
	产物分析室	楼上	0	4	约 20 人次/天	
	地下车库	楼下	0	4	约 200 人次/天	
	院内绿化园林	西侧	50	0	约 500 人次/天	
	病房楼	北侧	70	0	约 1000 人次/天	
	评价范围 50m 内其他公众人员	/	/	/	约 500 人次/天	
病房 17（^{90}Y 患者专用病房）	^{90}Y 患者专用病房	内部	0	0	2 人	职业人员
	病房 16	西侧	0	0	约 5 人次/天	公众人员
	走廊	北侧	0	0	约 50 人次/天	
	污洗/处置间	楼上	0	4	约 10 人次/天	
	无障碍病房	楼下	0	4	约 5 人次/天	
	院内停车场	东侧	3	0	约 500 人次/天	
	前杨道	东侧	25	0	约 3000 人次/天	
	门诊医技楼	南侧	35	0	约 1000 人次/天	
	食堂	北侧	65	0	约 1000 人次/天	
	评价范围 50m 内其他公众人员	/	/	/	约 500 人次/天	
患者转运路线	转运路线周边	四周	/	/	1 人（DSA 机房 1 内辐射工作人员）	职业人员
		四周	/	/	约 200 人次/天	公众人员

7.3 评价标准

7.3.1 剂量限值

剂量限值执行《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）规定，工作人员的职业照射和公众照射的剂量限值如下：

（1）职业照射

应对任何工作人员职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：

1）审管部门决定连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均），20mSv；

2）任何一年中的有效剂量，50mSv；

3）眼晶体的年当量剂量，150mSv；

4）四肢（手和足）或皮肤的年当量剂量，500mSv。

（2）公众照射

实践使公众中关键人群组的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：

1）年有效剂量，1mSv；

2）特殊情况下，如果 5 个连续年的年平均剂量不超过 1mSv，则某一单一年份的有效剂量可提高到 5mSv。

7.3.2 非密封源工作场所的分级

根据《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）的规定，应按照表 7-2 将非密封源工作场所按放射性核素日等效最大操作量的大小分级。

表 7-2　非密封源工作场所的分级

级 别	日等效最大操作量/Bq
甲	＞4×10^{9}
乙	2×10^{7}~4×10^{9}
丙	豁免活度值以上~2×10^{7}

放射性核素的日等效操作量等于放射性核素的实际日操作量（Bq）与该核素毒性组别修正因子的积除以与操作方式有关的修正因子所得的商。放射性核素的毒性识别修正因子及操作方式有关的修正因子分别见表 7-3 和表 7-4。

表 7-3　放射性核素毒性组别修正因子

毒性组别	毒性组别修正因子
极毒	10
高毒	1
中毒	0.1
低毒	0.01

表 7-4　操作方式与放射源状态修正因子

操作方式	放射源状态			
	表面污染水平较低的固体	液体、溶液、悬浮液	表面有污染的固体	气体、蒸汽、粉末、压力很高的液体、固体
源的贮存	1000	100	10	1
很简单的操作	100	10	1	0.1
简单操作	10	1	0.1	0.01
特别危险的操作	1	0.1	0.01	0.001

7.3.3 核医学科工作场所评价标准

（1）辐射工作场所屏蔽体外剂量率水平

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中的相关规定，本项目核医学科辐射工作场所屏蔽体外剂量率控制水平见表 7-5。

表 7-5　本项目核医学科屏蔽体外周围剂量当量率控制水平

场所	位置	剂量率控制水平
核医学科	距核医学工作场所控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处； 通风橱、注射窗等设备外表面 30cm 处人员操作位； 固体放射性废物收集桶、曝露于地面致使人员可以接近的放射性废液收集罐体和管道外表面 30cm 处。	＜2.5μSv/h
	控制区屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域	＜10μSv/h
	通风橱非正对人员操作位表面	＜25μSv/h

（2）表面污染控制水平

根据《电离辐射防护与辐射源基本安全标准》（GB18871-2002）和《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）相关规定，核医学科辐射工作场所的放射性表面污染控制水平见表 7-6。

表 7-6　核医学科工作场所放射性表面污染控制水平

表面类型		α放射性物质（Bq/cm²）		β放射性物质（Bq/cm²）
		极毒性	其他	
工作台、设备、墙壁、地面	控制区 [a]	4	4×10	4×10
	监督区	4×10^{-1}	4	4
工作服、手套、工作鞋	控制区、监督区	4×10^{-1}	4×10^{-1}	4
手、皮肤、内衣、工作袜		4×10^{-2}	4×10^{-2}	4×10^{-1}
a 该区内的高污染子区除外				

（3）放射性废水排放控制

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关规定，结合本项目核素使用情况、衰变池设计情况，放射性废水排放应满足以下要求：

a)所含核素半衰期小于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 30 天后可直接解控排放；

b）所含核素半衰期大于 24 小时的放射性废液暂存时间超过 10 倍最长半衰期（含碘-131 核素的暂存超过 180 天），监测结果经审管部门认可后，按照 GB 18871 中 8.6.2 规定方式进行排放。放射性废液总排放口总α不大于 1 Bq/L、总β不大于 10 Bq/L、碘-131 的放射性活度浓度不大于 10Bq/L。

（4）放射性固废排放控制要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中相关规定，固体放射性废物暂存和处理应满足以下要求：

固体放射性废物暂存时间满足下列要求的，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，α表面污染小于0.08Bq/cm^2、β表面污染小于0.8Bq/cm^2 的，可对废物清洁解控并作为医疗废物处理：

a）所含核素半衰期小于24小时的放射性固体废物暂存时间超过30天；

b）所含核素半衰期大于24小时的放射性固体废物暂存时间超过核素最长半衰期的10 倍；

（5）核医学工作场所屏蔽和通风要求

根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021），核医学工作场所屏蔽和通风要求如下：

6.2 场所安全措施要求

6.2.2 操作放射性药物场所级别达到乙级应在手套箱中进行，丙级可在通风橱内进行。应为从事放射性药物操作的工作人员配备必要的防护用品。放射性药物给药器应有适当的屏蔽，给药后患者候诊室内、核素治疗病房的床位旁应设有铅屏风等屏蔽体，以减少对其他患者和医护人员的照射。

6.3.1 核医学工作场所应保持良好的通风，工作场所的气流流向应遵循自清洁区向监督区再向控制区的方向设计，保持工作场所的负压和各区之间的压差，以防止放射性气体及气溶胶对工作场所造成交叉污染。

6.3.4 放射性物质的合成、分装以及挥发性放射性核素的操作应在手套箱、通风橱等密闭设备中进行，防止放射性液体泄漏或放射性气体及气溶胶逸出。手套箱、通风橱等密闭设备应设计单独的排风系统，并在密闭设备的顶壁安装活性炭或其他过滤装置。

6.3.5 设有通风橱、手套箱等场所的通风系统排气口应高于本建筑物屋顶，尽可能远离邻近的高层建筑。

7.4.1 产生气态放射性废物的核医学场所应设置独立的通风系统，合理组织工作场所的气流，对排出工作场所的气体进行过滤净化，避免污染工作场所和环境。

7.3.4 参考资料

《江苏省环境天然贯穿辐射水平调查研究》，刘明、王承保。辐射防护，1993年第13卷第2期。

表 7-7　江苏省环境天然γ射线（空气吸收）剂量率调查结果　单位：nGy/h

	原野γ辐射剂量率	道路γ辐射剂量率	室内γ辐射剂量率
范围	33.1～72.6	18.1-102.3	50.7～129.4
均值	50.4	47.1	89.2
标准差（s）	7.0	12.3	14.0

根据上表，本报告取江苏省天然贯穿辐射水平调查结果中的“均值±3 倍标准差”为评价参考范围，即原野γ辐射剂量率参考范围取（50.4±21.0）nGy/h 即29.4nGy/h~71.4nGy/h，道路γ辐射剂量率参考范围取（47.1±36.9）nGy/h 即10.2nGy/h~84nGy/h，室内γ辐射剂量率参考范围取（89.2±42.0）nGy/h 即47.2nGy/h~131.2nGy/h。

7.3.5 本次核技术利用项目限值要求汇总

表 7-8　本项目工作场所限值要求汇总

工作场所	周围剂量当量率	工作场所的放射性表面污染			放射性固废	
		位置	控制区	监督区		
核医学科	控制区内房间防护门、观察窗和墙壁外表面 30cm 处的周围剂量当量率应小于 2.5μSv/h，如屏蔽墙外的房间为人员偶尔居留的设备间等区域，其周围剂量当量率应小于 10μSv/h。 放射性药物合成和分装的箱体、手套箱等屏蔽结构外表面 30cm 处人员操作位的周围剂量当量率小于 2.5 μSv/h，放射性药物合成和分装箱体非正对人员操作位表面的周围剂量当量率小于 25 μSv/h。	①工作台、设备、墙壁、地面 ②手、皮肤、内衣、工作袜	①β放射性物质不大于 $4\times10Bq/cm^2$ ②β放射性物质不大于 4×10^{-1} Bq/cm^2	①β放射性物质不大于 $4Bq/cm^2$ ②β放射性物质不大于 4×10^{-1} Bq/cm^2	辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 $0.8Bq/cm^2$	含 ^{99m}Tc 放射性固废待储存超过 30 天；含 ^{90}Y 放射性固废储存超过十个半衰期后，活度低于 1×10^5Bq 后，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。
放射科 DSA 机房 1	控制区外 30cm 处：周围剂量当量率不大于 2.5μSv/h					
病房 16	/					
标准依据	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）			《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）	

表 7-9　本项目人员受照剂量限值要求汇总

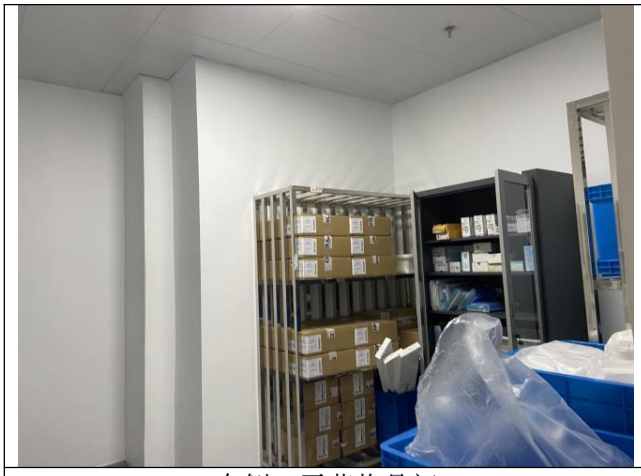
人员类型	年有效剂量限值	剂量约束值
职业人员	应对任何工作人员的职业照射水平进行控制，使之不超过下述限值：由审管部门决定的连续 5 年的年平均有效剂量（但不可作任何追溯性平均）20mSv	不大于 5mSv/a
公众	实践使公众中有关关键人群的成员所受到的平均剂量估计值不应超过下述限值：年有效剂量，1mSv	不大于 0.1mSv/a
标准依据	《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）	《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）

表 8 环境质量和辐射现状

8.1 项目地理和场所位置

本项目位于江南大学附属医院南院区，即江苏省无锡市滨湖区和风路 1000 号。南院区东侧为万顺道；南侧为和风路，隔路为北庄村；西侧为蠡湖大道，隔路为江南大学；北侧为蠡湖。项目地理位置见附图 1。

本项目不新增用房，依托核医学中心楼核医学科、门诊医技楼放射科 DSA 机房 1 及其配套用房和病房楼病房 17 用于开展肿瘤治疗项目。核医学科位于核医学中心楼 1 层；放射科 DSA 机房 1 位于门诊医技楼 1 层；病房 17（^{90}Y 患者专用病房）位于病房楼 3 层。项目周围环境现状见图 8-1、8-2 和 8-3。

<table>
<tr><td></td><td>
</td></tr>
<tr><td>东侧：无菌物品间</td><td>南侧：门诊药房</td></tr>
<tr><td></td><td></td></tr>
<tr><td>西侧：操作室</td><td>北侧：患者走廊</td></tr>
</table>

	
上方：产物分析室	下方：地下车库

图8-1　本项目DSA机房1周围环境现状图

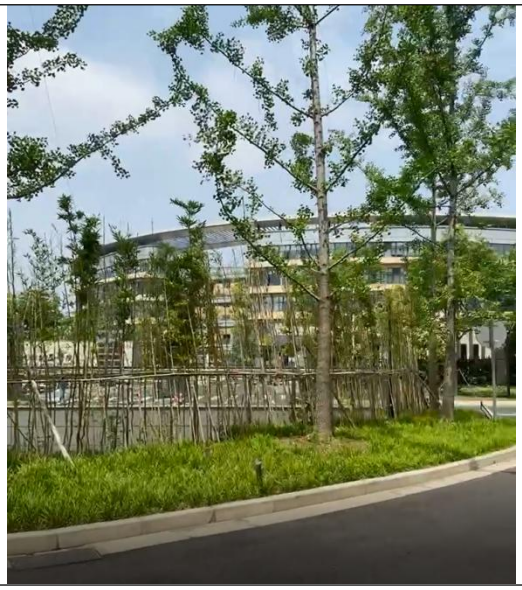
	
东侧：院内绿化园林	南侧：院内道路
	
西侧：核医学中心楼入口处	北侧：核医学中心楼与肿瘤中心综合楼之间的道路

图8-2　本项目核医学中心楼周围环境现状图

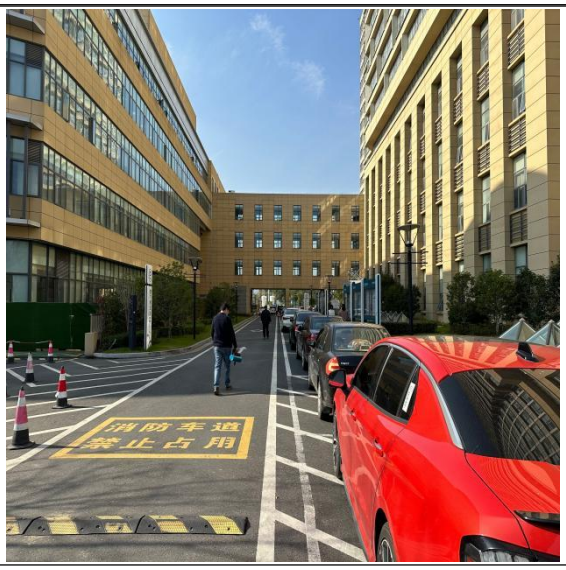
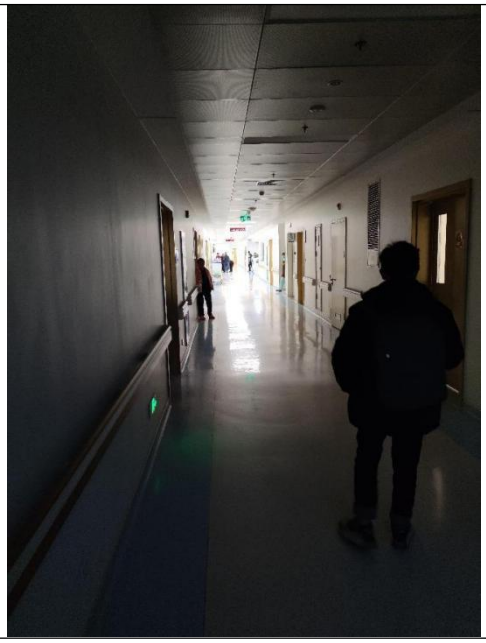
<table>
<tr><td></td><td>
</td></tr>
<tr><td>东侧：停车场</td><td>南侧：院内道路</td></tr>
<tr><td>
</td><td></td></tr>
<tr><td>西侧：^{125}I患者住院病房</td><td>北侧：走廊</td></tr>
</table>

图 8-3　本项目 ^{90}Y 患者专用病房周围环境现状图

8.2 环境现状评价的对象、监测因子和监测点位

8.2.1 环境现状评价对象

核医学科、放射科 DSA 机房 1 和病房 17 等相关工作用房及周边环境

8.2.2 监测因子

γ辐射剂量率和β表面污染

8.2.3 监测点位

环境本底监测报告考虑兼顾点位现状可到达性的条件下，在核医学科、^{131}I 治疗中心（原规划病房）、放射科 DSA 机房 1 和病房 17（现规划病房）等相关工作用房区域布设

监测点，并且在拟建场所周边周围环境状况不一致的区域布设监测点。具体监测点位布置见图 8-4 至图 8-9。

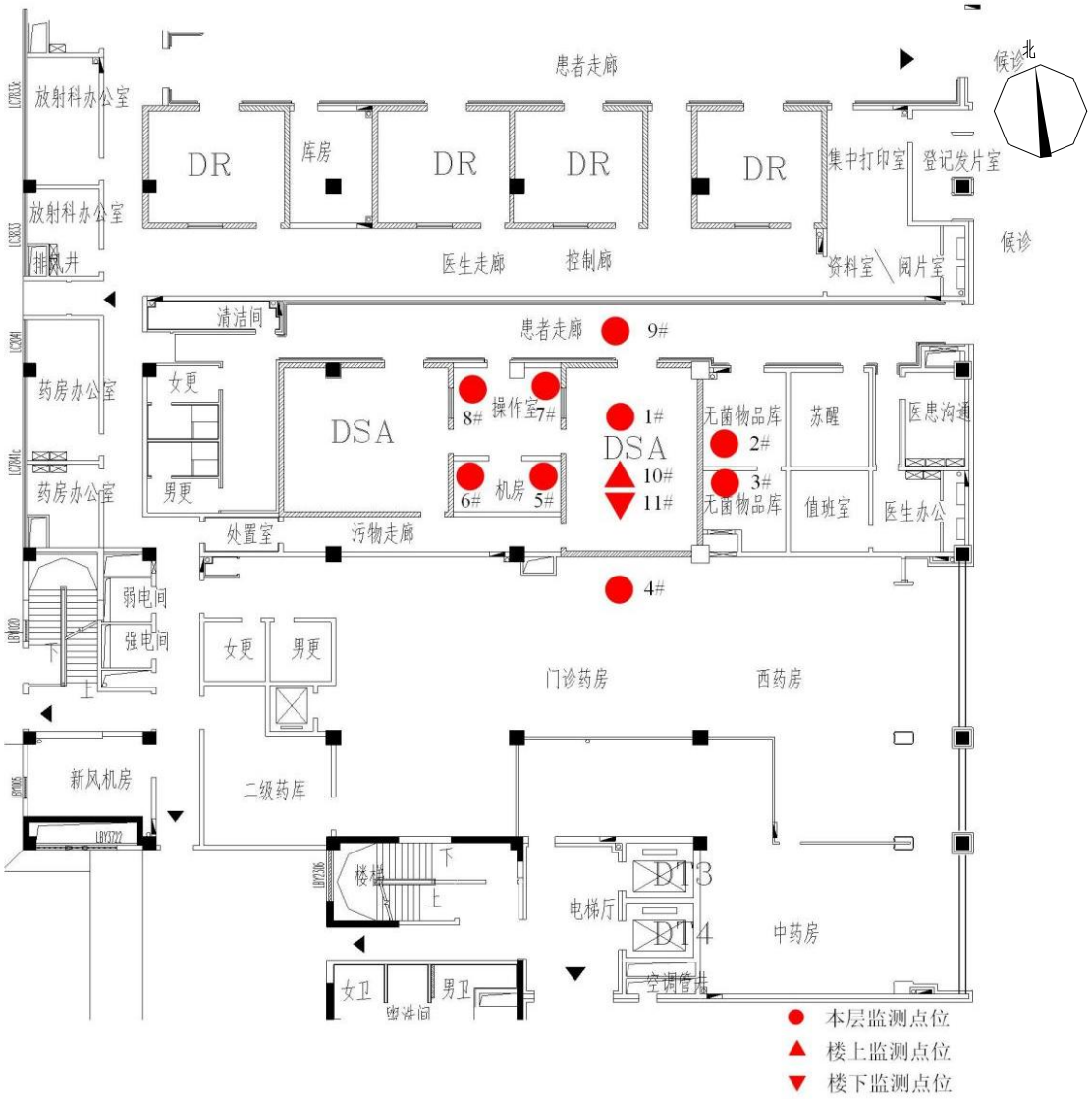


图 8-4　本项目 DSA 机房 1 及四周辐射质量现状监测点位

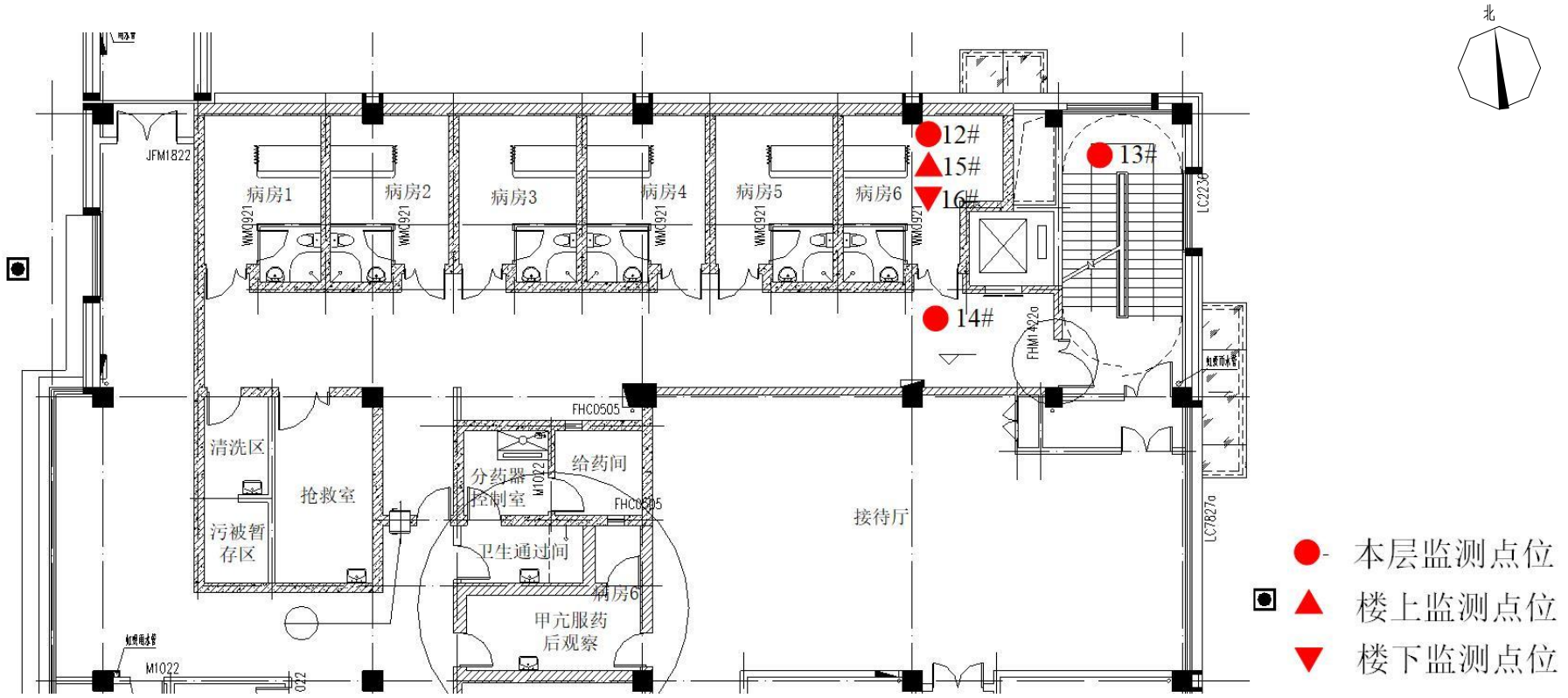


图 8-5　本项目 ^{131}I 治疗中心相关工作用房及四周辐射质量现状监测点

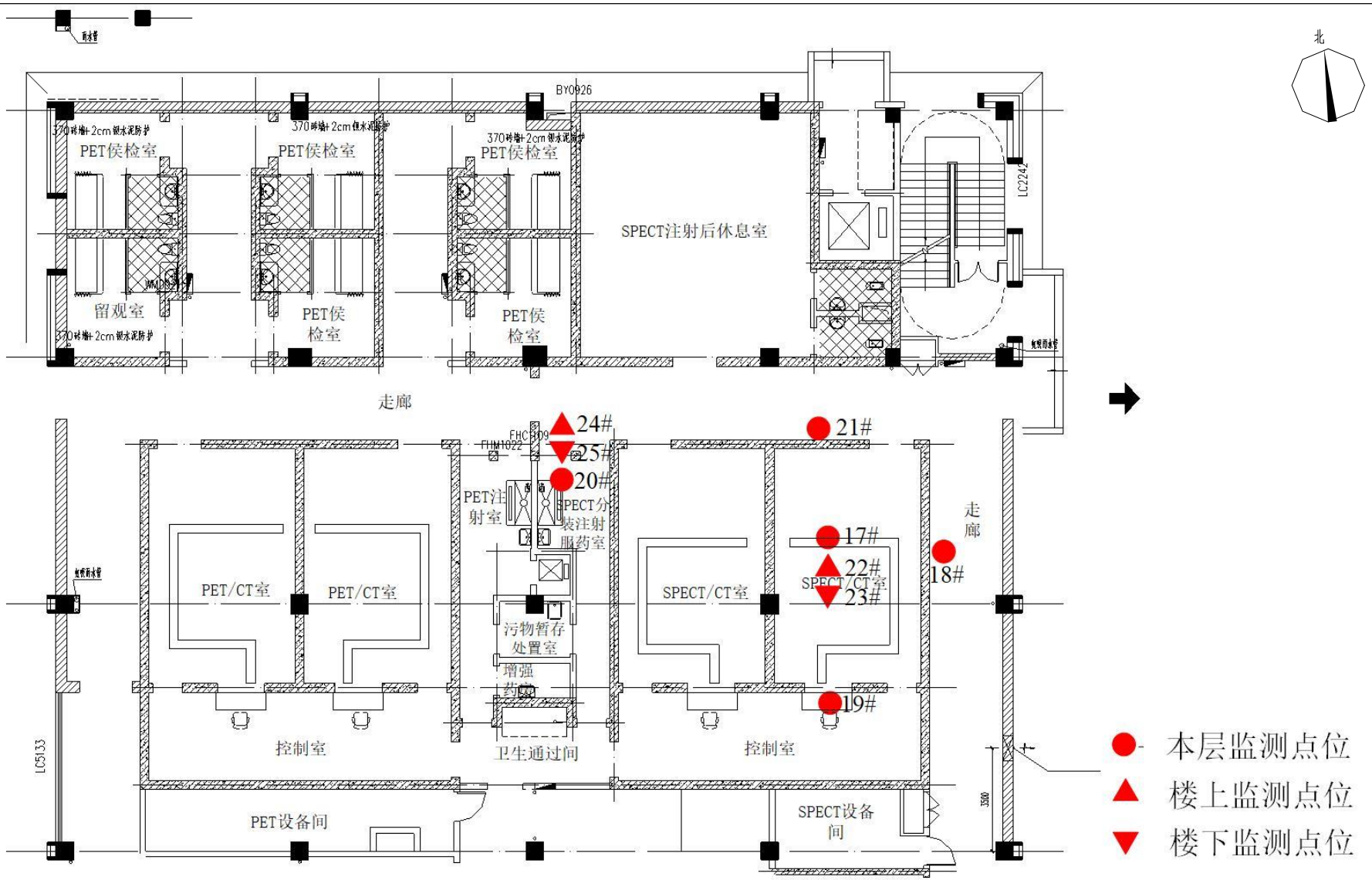


图8-6　本项目核医学科相关工作用房及四周辐射质量现状监测点

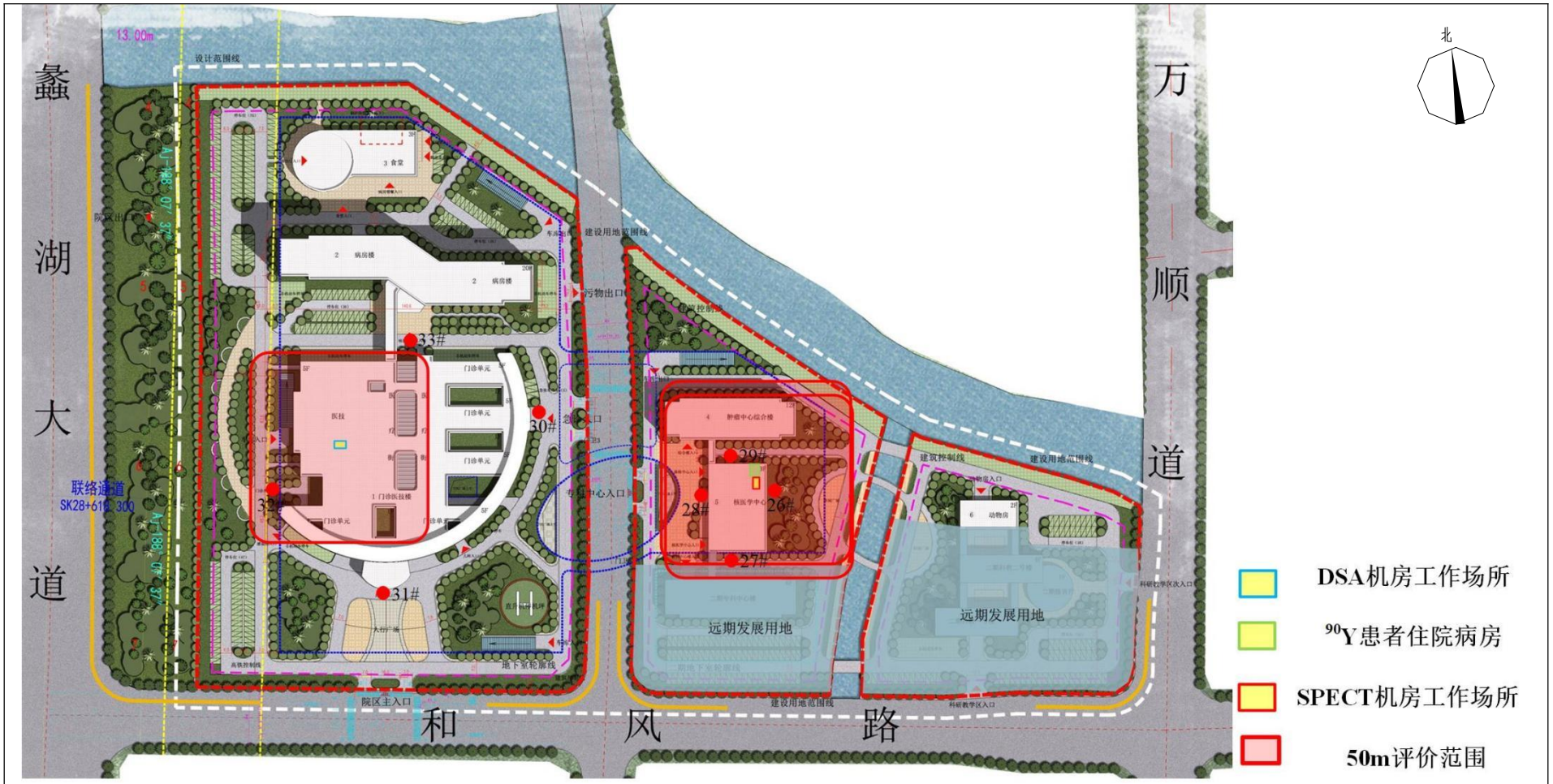


图8-7　本项目周边辐射质量现状监测点

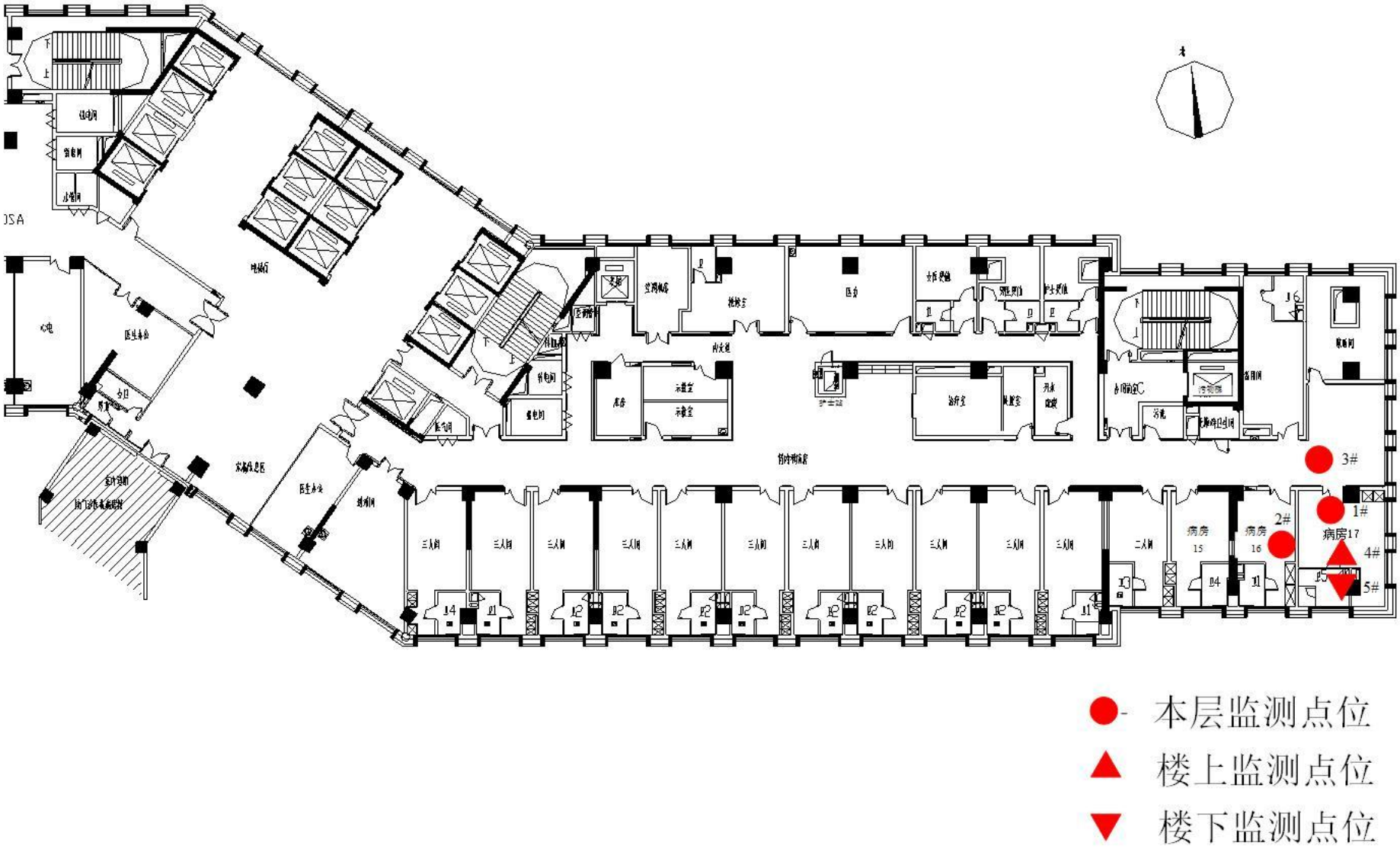


图8-8　本项目病房17（现规划病房）周边辐射质量现状监测点（补测）

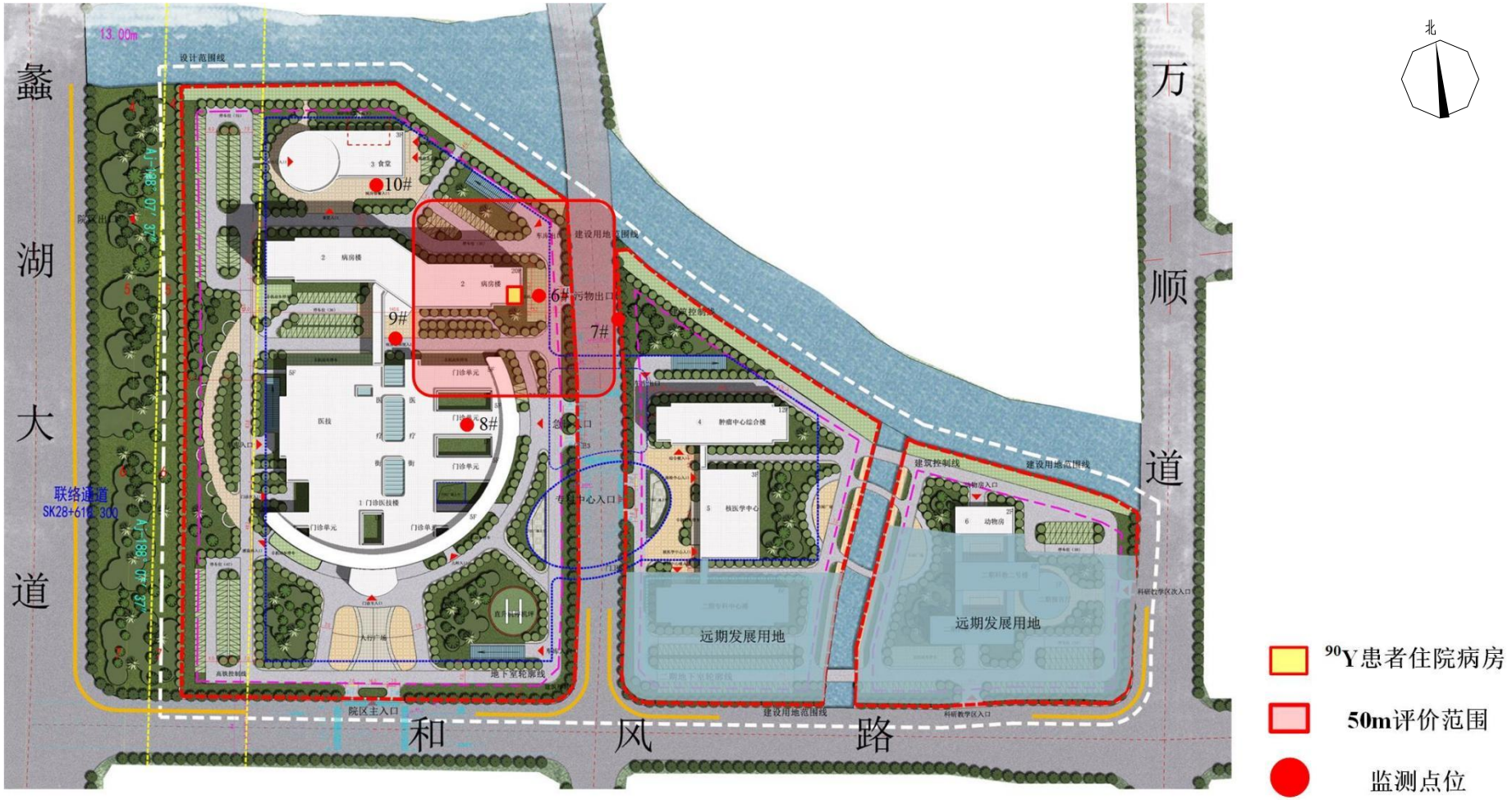


图8-9　本项目周边辐射质量现状监测点（补测）

8.3 监测方案、质量保证措施及监测结果

8.5.1 监测方案

（1）监测单位：浙江建安检测研究院有限公司

（2）监测日期：2022 年 8 月 15 日、2022 年 12 月 7 日（补测）

（3）监测方式：现场检测

（4）监测因子：γ辐射剂量率和β表面污染

（5）监测依据：

《环境γ辐射剂量率测量技术规范》（HJ 1157-2021）

《辐射环境监测技术规范》(HJ 61-2021)

《表面污染测定 第 1 部分：β发射体（$E_{\beta max}$＞0.15MeV）和α发射体》(GB/T 14056.1-2008)

（6）监测频次：依据《辐射环境监测技术规范》（HJ61-2021）5.3.1 予以确定，即 1 次/年

（7）监测方法：

①γ辐射剂量率：测量时探头距离地面约 1m，仪器读数稳定后，每个监测点测量 10 个数据取平均值。

②β表面污染：测量时探测器要尽可能靠近表面，仪器读数稳定后，每个监测点测量 10 个数据取平均值。

（8）监测工况：辐射环境本底

（9）天气环境条件：

2022 年 8 月 15 日：晴；温度：24℃；相对湿度：56%；

2022 年 12 月 7 日：晴；温度：19℃；相对湿度：59%；

（10）监测报告编号：GABG-HJ22380059-1，GABG-HJ22380059-2（补测）

（11）监测设备

表 8-1 监测设备参数表（GABG-HJ22380059-1）

仪器型号	6150AD6/H+6150AD-b/H	CoMo 170
仪器名称	环境监测 X-γ辐射空气吸收剂量率仪	α、β表面污染仪
生产厂家	automess	S.E.A.
仪器编号	05038417	05034714

能量范围	20keV-7MeV	170cm^2
量　　程	模拟量程：10nSv/h-100μSv/h； 数字量程：1nSv/h-99.9μSv/h	α:0.1CPS；β:15～25CPS
检定单位	中国计量科学研究院	上海市计量测试技术研究院； 华东国家计量测试中心
校准证书	DLjl2022-06888	2022H21-20-3810568001
检定日期	2022 年 7 月 18 日～2023 年 7 月 17 日	2022 年 02 月 14 日～2023 年 02 月 13 日

表 8-2　监测设备参数表（GABG-HJ22380059-2）

仪器名称	X、γ辐射剂量当量率仪	α、β表面污染仪
仪器型号	FH40G-L10+FHZ672E-10	CoMo 170
生产厂家	Thermo SCIENTITIC	S.E.A.
仪器编号	05035404	05035883
能量范围	40KeV～4.4MeV	170cm^2
量　　程	主机：10nSv/h～100mSv/h； 探头：1nSv/h～100μSv/h	α:0.1CPS；β:15～25CPS
校准单位	上海市计量测试技术研究院， 华东国家计量测试中心	上海市计量测试技术研究院， 华东国家计量测试中心
校准证书	2022H21-10-3832004001	2022H21-20-3810568002
校准日期	2022 年 03 月 01 日	2022 年 02 月 14 日～2023 年 02 月 13 日

8.3.2 质量保证措施

①结合现场实际情况及监测点的可到达性，在项目拟建场址内和评价范围内工作人员活动区域、公众人员相对集中的区域及周边建筑布设监测点位，充分考虑监测点位的代表性和可重复性，以保证监测结果的科学性和可比性。

②监测方法采用国家有关部门颁布的标准，监测人员经考核并持有合格证书上岗。

③监测仪器每年定期经有资质的计量部门检定，检定合格后方可使用。

④每次测量前、后均检查仪器的工作状态是否正常。

⑤本次监测委托浙江建安检测研究院有限公司开展，该公司持有浙江省质量技术监督局认定的检验检测机构资质认定证书（证书编号：221112050970），监测实行全过程的质量控制，严格按照公司《质量手册》、《程序文件》及仪器作业指导书的有关规定执行，监测人员经考核合格并持有合格证书上岗。

⑥监测报告严格实行三级审核制度，经过校核、审核，最后由技术总负责人审定。

8.3.3 监测结果

8.3.3.1 GABG-HJ22380059-1 监测结果

GABG-HJ22380059-1 辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-3~表 8-4。

表 8-3　核医学科、^{131}I 治疗中心和放射科 DSA 机房 1 相关工作用房及周边γ辐射剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果（nGy/h）		备注
		测量值	标准差	
1#	DSA 机房（本项目）	42	1	室内
2#	无菌物品库	70	2	室内
3#	无菌物品库	69	1	室内
4#	门诊药房	59	1	室内
5#	机房东侧	51	1	室内
6#	机房西侧	50	1	室内
7#	操作室观察窗	51	1	室内
8#	操作室西侧	50	1	室内
9#	患者走廊	51	2	室内
10#	楼上空调机房+产物分析室	53	1	室内
11#	楼下地下车库	63	2	室内
12#	病房 6（^{90}Y 患者住院病房）	66	1	室内
13#	楼梯间	67	1	室内
14#	病房 6 防护门外	61	1	室内
15#	楼上更衣室	52	1	室内
16#	楼下 SPECT 注射后休息室	93	2	室内
17#	SPECT/CT 室（本项目）	47	2	室内
18#	走廊	65	1	室内
19#	控制室观察窗	55	1	室内
20#	SPECT 分装注射服药室观察窗	56	1	室内
21#	走廊	65	1	室内
22#	楼上接待厅	59	1	室内

23#	楼下气瓶间	60	1	室内
24#	楼上接待厅	54	1	室内
25#	楼下走廊	61	1	室内
26#	核医学中心楼东侧：绿化	45	1	室外
27#	核医学中心楼南侧：过道	46	1	室外
28#	核医学中心楼西侧：核医学中心入口	46	1	室外
29#	核医学中心楼北侧：过道	46	1	室外
30#	门诊医技楼东侧：急诊入口	53	1	室外
31#	门诊医技楼南侧：门诊主入口	54	1	室外
32#	门诊医技楼西侧：门诊次入口	53	1	室外
33#	门诊医技楼北侧：门诊出口	54	1	室外

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正；

3、环境γ辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1×仪器检验源效率因子 k_2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3×测量点宇宙射线响应值 Dc，校准因子 k_1 为 1.01，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 27nGy/h；

4、以上室内均指楼房，屏蔽修正因子 k_3 取 0.8。

表 8-4　核医学科、^{131}I 治疗中心和放射科 DSA 机房 1 相关工作用房及周边β表面污染监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果（Bq/cm²）
1#	DSA 机房（本项目）	＜0.13
2#	无菌物品库	＜0.13
3#	无菌物品库	＜0.13
4#	门诊药房	＜0.13
5#	机房东侧	＜0.13
6#	机房西侧	＜0.13
7#	操作室观察窗	＜0.13
8#	操作室西侧	＜0.13
9#	患者走廊	＜0.13
10#	楼上空调机房+产物分析室	＜0.13
11#	楼下地下车库	＜0.13

12#	病房 6（^{90}Y 患者住院病房）	＜0.13
13#	楼梯间	＜0.13
14#	病房 6 防护门外	＜0.13
15#	楼上更衣室	＜0.13
16#	楼下 SPECT 注射后休息室	＜0.13
17#	SPECT/CT 室（本项目）	＜0.13
18#	走廊	＜0.13
19#	控制室观察窗	＜0.13
20#	SPECT 分装注射服药室观察窗	＜0.13
21#	走廊	＜0.13
22#	楼上接待厅	＜0.13
23#	楼下气瓶间	＜0.13
24#	楼上接待厅	＜0.13
25#	楼下走廊	＜0.13
26#	核医学中心楼东侧：绿化	＜0.13
27#	核医学中心楼南侧：过道	＜0.13
28#	核医学中心楼西侧：核医学中心入口	＜0.13
29#	核医学中心楼北侧：过道	＜0.13
30#	门诊医技楼东侧：急诊入口	＜0.13
31#	门诊医技楼南侧：门诊主入口	＜0.13
32#	门诊医技楼西侧：门诊次入口	＜0.13
33#	门诊医技楼北侧：门诊出口	＜0.13

注 1：上述检测结果均已扣除本底，每个监测点测量 10 个数据取平均值；

2：CoMo 170 型α、β表面污染仪/05034714 的β表面污染探测下限为 0.13Bq/cm^2。

8.3.3.2 GABG-HJ22380059-2 监测结果

GABG-HJ22380059-2 辐射环境现状各监测点位的监测结果见表 8-5~表 8-6。

表 8-5　病房 17 及周边γ辐射剂量率监测结果

监测点编号	监测点位置	监测结果（nGy/h）		备注
		测量值	标准差	

1	无障碍病房（^{90}Y 患者住院病房）	110	1.9	室内
2	^{125}I 患者住院病房	110	2.3	室内
3	走廊	108	2.2	室内
4	楼上污洗/处置间	107	2.0	室内
5	楼下无障碍病房	109	2.6	室内
6	病房楼东侧楼外停车场	62.0	1.8	室外
7	前杨道西侧	61.0	2.2	室外
8	门诊医技楼	109	2.3	室外
9	病房楼入口处	57.0	2.3	室外
10	食堂	58.0	2.2	室外

注：1、测量时探头距离地面约 1m；

2、每个监测点测量 10 个数据取平均值，以上监测结果均已对宇宙射线的响应值修正；

3、环境γ辐射空气吸收剂量率=读数平均值×校准因子 k_1×仪器检验源效率因子 k_2÷空气比释动能和周围剂量当量的换算系数-屏蔽修正因子 k_3×测量点宇宙射线响应值 Dc，校准因子 k_1 为 1.12，仪器使用 ^{137}Cs 进行校准，效率因子 k_2 取 1，换算系数为 1.20Sv/Gy，k_3 楼房取 0.8、平房取 0.9、原野和道路取 1，仪器对宇宙射线的响应值为 9nGy/h；

4、室内监测点均为楼房，k_3 取 0.8。

表 8-6　病房 17 及周边β表面污染监测结果

监测点编号	场所名称	测量位置	监测结果（Bq/cm^2）
1	无障碍病房（^{90}Y 患者住院病房）	地面	小于探测限
		墙面	小于探测限
		门表面	小于探测限
		床面	小于探测限
		卫生间地面	小于探测限
		卫生间墙面	小于探测限
		卫生间便池表面	小于探测限
		卫生间洗手池表面	小于探测限
2	^{125}I 患者住院病房	地面	小于探测限
		墙面	小于探测限
		门表面	小于探测限
		床面	小于探测限
		卫生间地面	小于探测限
		卫生间墙面	小于探测限

		卫生间便池表面	小于探测限
		卫生间洗手池表面	小于探测限
3	走廊	地面	小于探测限
		墙面	小于探测限
4	楼上污洗/处置间	地面	小于探测限
		墙面	小于探测限
5	楼下无障碍病房	地面	小于探测限
		墙面	小于探测限
		门表面	小于探测限
		床面	小于探测限
		卫生间地面	小于探测限
		卫生间墙面	小于探测限
		卫生间便池表面	小于探测限
		卫生间洗手池表面	小于探测限
6	病房楼东侧楼外停车场	地面	小于探测限
7	前杨道西侧	地面	小于探测限
8	门诊医技楼	地面	小于探测限
9	病房楼入口处	地面	小于探测限
10	食堂	地面	小于探测限
		墙面	小于探测限
		椅面	小于探测限

注：1、每个监测点测量 10 个数据取平均值；

2、CoMo 170 型α、β表面污染仪/05035883 的β表面污染探测下限为 0.13Bq/cm^2。

8.4 环境现状评价

根据环境本底监测报告监测结果可知，核医学科、病房 17 和放射科 DSA 机房 1 相关工作用房及周边室内γ辐射剂量率范围为 42nGy/h~110nGy/h，基本处于江苏省室内天然γ辐射水平；室外γ辐射剂量率范围为 45nGy/h~109nGy/h，处于江苏省道路天然γ辐射水平。

核医学科、病房 17 和放射科 DSA 机房 1 相关工作用房及周边各监测点β表面污染监测值均小于检测下限，未见异常。

表 9 项目工程分析与源项

9.1 施工期工程分析

本项目依托现有的核医学中心楼 1 层核医学科 SPECT/CT 室 1、控制室、SPECT/CT 分装注射服药室和门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1、DSA 机房操作室、无菌物品库形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所用于开展肿瘤治疗项目，并将病房楼 3 层东侧病房 17 作为本项目 ^{90}Y 患者专用病房，不新增用房，无施工期。

9.2 工程设备和工艺分析

（1）非密封放射性物质

本项目使用的非密封放射性物质为 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc，^{90}Y 核素用于肿瘤治疗，^{99m}Tc 核素用于肿瘤治疗前 SPECT/CT 显像诊断。

本项目使用的 ^{99m}Tc 为单支药物，不开展分装，^{90}Y 需根据患者需求在核医学科 SPECT 分装注射服药室内分装、测量活度。在手术前，将核素运至放射科 DSA 机房 1 内。本项目所使用核素的性能参数见表 9-1，计划工作量 9-2。

表 9-1 本项目放射性同位素的性能参数

核素	半衰期	衰变类型及分支比（%）	主要α、β辐射能量（MeV）	主要γ、X 射线能量（MeV）	1m 处周围剂量当量率常数（裸源）（$\mu Sv \cdot m^2 \cdot MBq^{-1} \cdot h^{-1}$）
^{90}Y	2.67d	β^-（100）	2.284	/	/
^{99m}Tc	6.02h	IT(100)	/	0.140	0.0303

表 9-2 本项目放射性同位素的计划工作量

工作场所	核素	单人最大用药量	日最大门诊量	日最大操作量	年最大门诊量	年最大用量	用途
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（放射科 DSA 机房 1）	^{90}Y	2×10^9Bq	1 人	2×10^9Bq	100 人	2×10^{11}Bq	肿瘤治疗
	^{99m}Tc	1.48×10^8Bq	1 人	1.48×10^8Bq		1.48×10^{10}Bq	肿瘤治疗前显像诊断
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（核医学科）	^{90}Y	3×10^9Bq	1 人	3×10^9Bq	100 人	3×10^{11}Bq	肿瘤治疗
	^{99m}Tc	1.48×10^8Bq	1 人	1.48×10^8Bq		1.48×10^{10}Bq	肿瘤治疗前显像诊断

（2）射线装置

本项目核素^{90}Y和^{99m}Tc需依托放射科DSA机房1内DSA进行导管注射，^{90}Y核素术后复查和^{99m}Tc核素显像诊断需依托核医学科SPECT/CT室1内进行SPECT/CT显像扫描。

DSA机房1内DSA和核医学科SPECT/CT室1内SPECT/CT，依托江南大学附属医院

门诊医技楼放射科DSA机房1和核医学中心楼核医学科SPECT/CT室1内现有射线装置，以上射线装置已于2019年委托编制了《江南大学附属医院（无锡市第四人民医院）新院区新建放射诊疗及迁建1台回旋加速器项目环境影响报告表》，取得江苏省生态环境厅批复，批复文号为苏环辐（表）审[2019]30号，于2023年1月完成自主验收。其操作流程和产污环节分析已在《江南大学附属医院（无锡市第四人民医院）新院区新建放射诊疗及迁建1台回旋加速器项目环境影响报告表》中进行分析，本报告不再分析。

（3）工作原理

^{90}Y 微球是一款靶向放射治疗产品，由含有钇的生物相容性树脂微球组成，直径为20-60μm。该产品被广泛应用于肝癌的选择性体内放射治疗（SIRT）中，即在肝脏病灶处，通过靶向的大剂量高能量β辐射起到杀死癌症细胞的目的，同时不伤害健康肝脏组织。被广泛用于手术治疗不可切除的肝癌，包括结直肠癌肝脏转移癌症、原发性肝癌、胆管癌、神经内分泌细胞瘤、乳腺癌肝脏转移癌症等。^{90}Y 半衰期为 2.67 天，是通过化学方法从 ^{90}Sr 中提取，将其离子键结合在树脂微上制成的微小颗粒，药物为悬浮液形式，通过选择性动脉插管的方法将载有 ^{90}Y 放射性核素的颗粒注入肿瘤血管，使 ^{90}Y 滞流于肿瘤组织内达到足够剂量杀人死肿瘤细胞，此微球具有不能通过毛细血管网，且不被巨噬细胞所吞噬吞，生物相容性好、无毒、核素衰变基本完成后，微球开始生物降解而不再栓塞血管的特点。^{90}Y 发出的β射线能量为 2.284MeV，在人体组织中的最大射程为11mm。

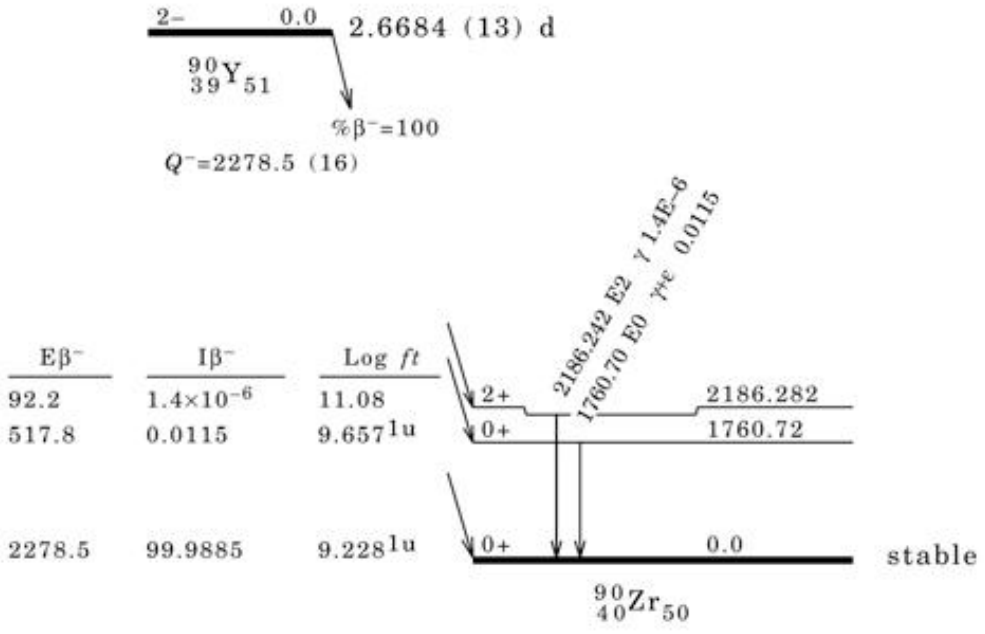


图 9-1　^{90}Y 核素的衰变纲图

（4）工作流程及产污环节

^{90}Y 肿瘤治疗分为第一阶段和第二阶段。

第一阶段具体步骤如下：

①前一天患者在普通病房内住院，进行术前准备，填妥血管摄影同意书，并通知禁食 6~8 小时，当天手术前排空尿液；

②送放射科 DSA 机房 1 内作血管造影、放置导管并栓塞胃肠侧支血管；进行腹部电脑断层扫描确定导管位置；通过导管注入 ^{99m}Tc（^{99m}Tc-MAA）进入肝脏；

③通过放射科 DSA 机房 1 北侧防护门离开 DSA 机房 1，由医护人员将患者转运至核医学科进行 SPECT/CT 扫描，确定 ^{99m}Tc（^{99m}Tc-MAA）植入位置；

④扫描完成后，若无其他情况，患者即可从患者专用通道离开，转运至病房内住院观察 1 天。

第二阶段具体步骤如下：

通过第一阶段注射 ^{99m}Tc（^{99m}Tc-MAA）并进行显像扫描后判断患者可以进行 ^{90}Y 手术治疗，通知 7-10 天后住院，准备进行第二阶段 ^{90}Y 微球体输注。

①前一天患者在普通病房内住院检查，进行术前准备，填妥血管摄影同意书，并通知禁食 6~8 小时，当天手术前排空尿液；

②治疗当天送放射科 DSA 机房 1 作血管造影，由放射科医师经由股动脉置入肝动脉导管，透过导管注入 ^{90}Y 微球体；

^{90}Y 微球体输注步骤如下：工作人员手持内置 ^{90}Y 微球体的西林瓶的防护罐进行摇晃，持续时间大约 30s/例。摇匀后，迅速打开防护罐盖子，使用长柄镊子夹取含 ^{90}Y 微球体的西林瓶放置在活度计测井内，测量 ^{90}Y 微球体总活度并进行记录。其次将带有 15mm 有机玻璃防护的注射器扎入西林瓶底部，快速抽压数次，使西林瓶中 ^{90}Y 微球体混合均匀，抽取一定量的 ^{90}Y 微球体注入无菌 V 瓶，将剩余放射性药物放置在活度计测井中测量，直至抽取完成患者所需的合适的活度为止。注入结束后，拔出注射器并装好针管，将无菌 V 瓶屏蔽罐的顶部塞盖好。^{90}Y 微球体的活度测量、抽取过程于核医学科 SPECT 分装注射服药室内进行，大概持续 5 分钟。

将测量完活度的含 ^{90}Y 微球体的无菌 V 瓶放置于注射防护盒内，连接将无菌水或 5%右旋糖苷和造影剂等辅助材料。装配完成后，先注入造影剂复查导管位置；其次注入无菌水或 5%右旋糖苷冲洗导管，避免导管中造影剂与 ^{90}Y 微球体混合；将 ^{90}Y 微球

通过病人体内的导管注入患者体内，直达病灶。将微球分小剂量多次注入，注入过程大概持续 20 分钟。最后，将无菌水或 5%右旋糖苷注入导管，避免微球滞留在导管内。完成后，将导管从病人体内取出，将无菌 V 瓶、导管等放置于放射性废物桶内。

③治疗 30 小时内安排时间至核医学科核素诊断场所进行 SPECT/CT 扫描，确定 ^{90}Y 微球体植入位置；

④扫描完成后，患者转运至病房内住院观察 1 天。每名患者 ^{90}Y 最大给药量为 $2\times10^{9}Bq$。根据《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）附录 B.1 患者出院的体内放射性核素活度要求可知，^{90}Y 患者出院时，体内 ^{90}Y 放射性活度需低于 $2.5\times10^{9}Bq$。因此 ^{90}Y 患者住院 1 天后可出院。

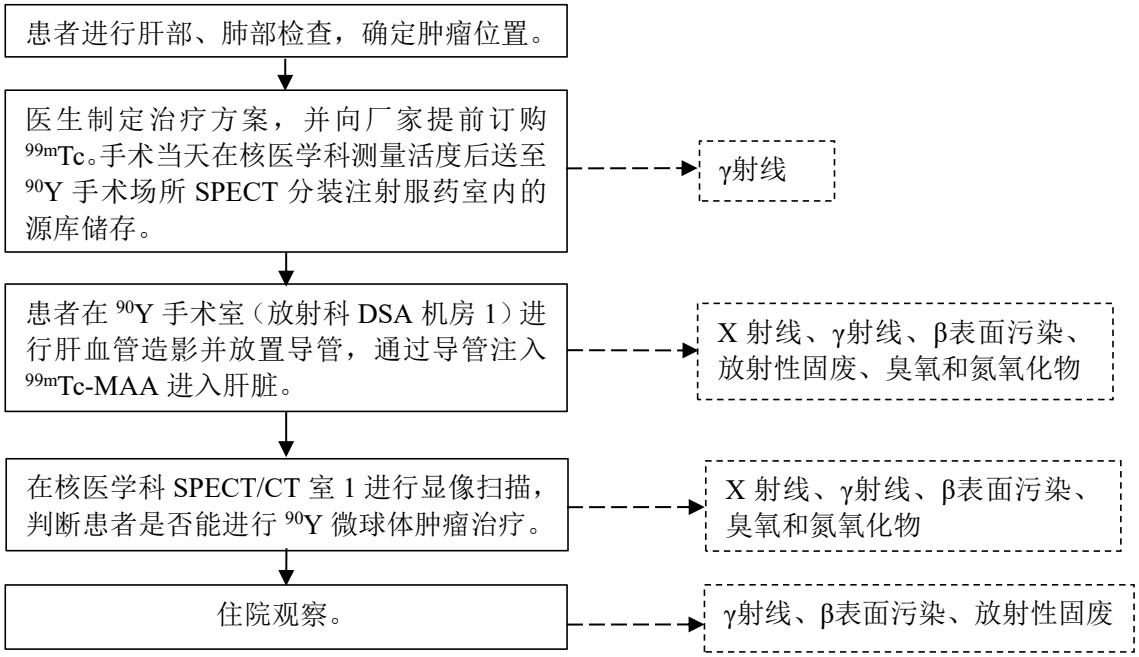


图 9-2　^{90}Y 手术场所肿瘤治疗工作流程及产污环节分析示意图（第一阶段）

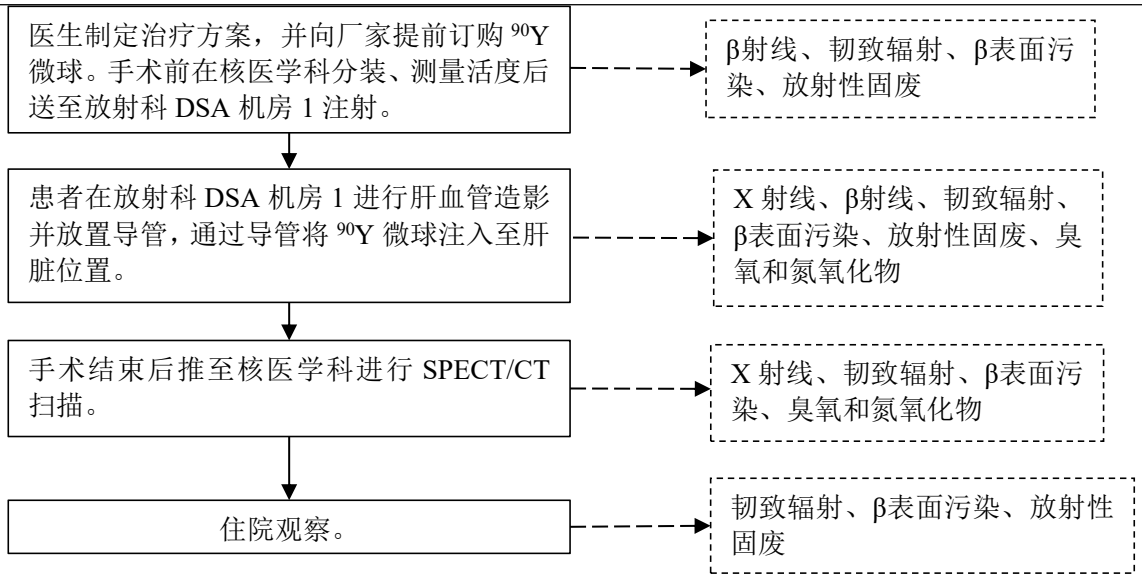


图 9-3　^{90}Y 手术场所肿瘤治疗工作流程及产污环节分析示意图（第二阶段）



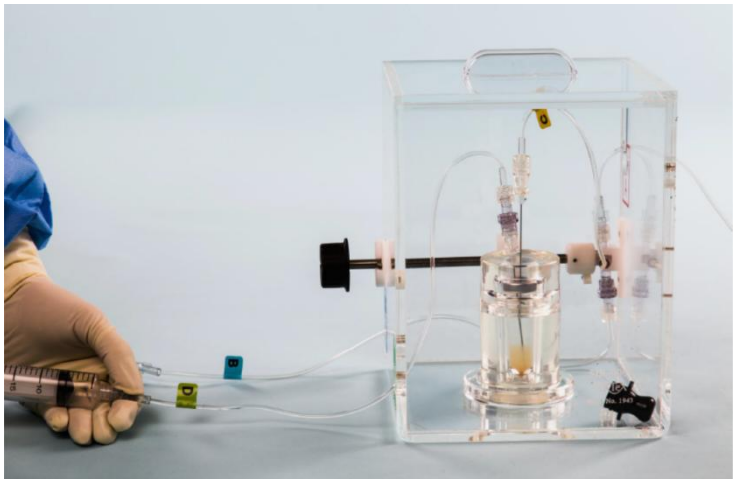
无菌 V 瓶



15mm 有机玻璃防护的注射器



防护罐



注射防护盒

图 9-4　^{90}Y 微球注射设施实物图

（5）人流、物流路径规划

①工作人员路径

放射科 DSA 工作人员从 DSA 机房 1 西侧医护走廊进入更衣室进行更衣，更衣完成后再通过北侧走廊分别进入 DSA 操作室和 DSA 机房 1，技师在操作室内进行设备操作，医生经操作室东侧防护门进入 DSA 机房 1 内部进行手术，工作结束后在机房内进行表面污染测定，测定无误后原路返回。

SPECT/CT 工作人员从核医学中心楼西侧核医学中心楼入口处进入核医学中心楼，通过卫生通过间南侧防护门进入核医学工作场所。负责核素分装、测量活度的工作人员进入 SPECT 分装注射服药室内进行核素分装、测量活度，工作结束后原路返回；技师和医护人员经控制室西侧防护门进入控制室，技师在控制室内进行设备操作，医生经控制室南侧防护门进入 SPECT/CT 室 1 摆位，工作结束后原路返回。

病房查房人员（由介入科医护人员负责）从护士站出发，经过走廊，抵达本项目 ^{90}Y 患者专用病房进行查房，查房工作结束后，原路返回。

②患者路径

患者从放射科候诊区经患者走廊，通过DSA机房 1 北侧防护门由工作人员推床进入DSA机房 1 内部进行手术。手术完成后，从DSA机房 1 北侧防护门离开DSA机房 1，转出门诊医技楼，从核医学中心楼西侧核医学中心楼入口处进入核医学科。通过走廊经SPECT/CT室 1 北侧防护门进入SPECT/CT室 1，进行显像扫描。扫描确认后，患者经过核医学中心楼东侧的患者出口离开核医学中心楼。^{90}Y微球注射治疗后，患者需要住院。患者通过病房楼南侧入口处进入电梯厅，乘坐电梯抵达 3 层，穿过东侧病房区入口，经过走廊进入 ^{90}Y患者专用病房。医院在开展本项目前应当做好规划，合理安排手术时间和手术路线，避免在手术和人流高峰时间，患者转运路线尽可能避开人群稠密区域，尽可能降低对公众的影响。

DSA 机房 1 内核素操作完成后，放射工作人员拟对整个机房进行表面污染测定，确认无表面污染后，方可进行其他手术。

③放射性药物路径

^{90}Y肿瘤治疗项目使用的核素为外购单支成品药物。工作人员根据临床诊断所需药物的使用量、预约检查的人数，提前向供药单位订购放射性药物，供药单位在约定的时间，将预约用量的药物以单支成品药物送至核医学科SPECT分装注射服药的SPECT分装

注射服药室内的源库内，核医学科安排专人接收放射性核素。核医学科工作人员将放射性药物根据患者手术要求在SPECT分装注射服药室的手套箱内进行分装、测量活度。分装完成后，在手术前连同铅罐运输至DSA机房 1 内。医院在开展本项目前应当做好规划，合理安排手术时间和手术路线，避免在手术和人流高峰时间，药物运输路线尽可能避开人群稠密区域，尽可能降低对公众的影响。

④污物路径

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手套、手术服、口罩、眼罩、有机玻璃盒子等放射性固体废物。以上固体废物产生后由专人收集后，会被存放于 DSA 机房 1 铅桶内，下班时段再从 DSA 机房 1 西侧防护门运出，暂存于核医学科的污物暂存处置室内。住院病房内放射性废物，待患者出院后，在下班时段将放射性废物打包运输至核医学科的污物暂存区内暂存。

本项目使用的核素较为特殊，涉及工作场所较多，且本项目依托原有项目开展，医院在开展本项目前应当做好规划，合理安排手术时间和手术路线，避免在手术和人流高峰时间，患者转运路线尽可能避开人群稠密区域，尽可能降低对公众的影响。

门诊医技楼放射科DSA机房 1 人流物流路线图见附图 4，核医学中心楼 1 层核医学科人流物流路线图见附图 5，病房楼 3 层 ^{90}Y患者专用病房人流物流路线图见附图 6。

9.3 污染源项描述

9.3.1 正常工况下污染源项

（1）γ射线和β射线

本项目使用 ^{90}Y 进行肿瘤治疗，使用 ^{99m}Tc 进行肿瘤治疗前 SPECT/CT 显像扫描。

放射性核素 ^{90}Y 为纯β衰变，在衰变过中仅产生β射线，以及β射线在与物质作用会产生韧致辐射。放射性核素 ^{99m}Tc 在衰变过程中释放γ射线，γ射线穿透能力很强，会对周围环境造成一定的辐射影响。因此γ射线、β射线是核素使用过程中的主要污染因子。

（2）β放射性表面污染

放射性核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 操作过程中，会引起工作台、工作服和手套等产生放射性沾污，造成小面积的β放射性表面污染。

（3）放射性废气

本项目放射性药物 ^{99m}Tc、^{90}Y 为非挥发性核素，待注射前放置于铅罐中，注射时药物在针筒或西林瓶内，游离的 ^{90}Y 核素以氯化钇（$^{90}YC1_3$）形式存在，氯化钇不具备挥发性，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

（4）放射性废水

本项目放射性废水主要为进行 ^{90}Y 树脂微球治疗的患者住院期间产生的排泄物，排泄物中含有 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 核素。根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）可知，患者在接受 ^{90}Y 树脂微球核素治疗后，0~24h 每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为 3.11×10^5Bq，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度(7.41×10^6Bq)的相关要求；患者 24h 排出的含 ^{90}Y 核素放射性废液的最大活度为 $4.93\times10^4Bq/L$，低于豁免活度浓度 $1\times10^6Bq/L$。同理含 ^{99m}Tc 核素废水也低于单次放射性废水排放总活度和豁免活度浓度。因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑，住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

（5）放射性固体废物

本项目使用 ^{90}Y 树脂微球治疗过程中产生的放射性固体废物包括：注射 ^{99m}Tc 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内管等，^{90}Y 树脂微球抽取过程中产生的转移用的一次性手套、注射器、含剩余药物的西林瓶等放射性固体废物，注射 ^{90}Y 放射性药物产生的一次性手套、输液管、患者体内导管、V 瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物。若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手套、手术服、口罩、眼罩、有机玻璃盒子等放射性固体废物。

本项目每年最大开展 100 例 ^{90}Y 肿瘤治疗，参考《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心），放射性固体废物产生量保守按 2kg/例考虑，则本项目放射性固废产生量为 200kg/a。住院患者产生的废物主要是住院患者产生的医疗废物，按照每人每天按照 0.5kg 产生量进行估算。本项目每年最大开展 100 例 ^{90}Y 肿瘤治疗，每位患者最大共需住院 2 天，则患者住院治疗产生的放射性固废的产生量为 100kg/年。综上，本项目放射性固废产生量为 300kg/a。

每瓶 ^{90}Y 树脂微球为 3×10^9Bq，每周最多使用 2 瓶，患者注射 ^{90}Y 树脂微球量约 2×10^9Bq，剩余的 ^{90}Y 树脂微球作为放射性废物进行处理，产生量最大约 2×10^9Bq/周。手术过程中附着在输液管、患者体内导管等放射性废液量很少。

9.3.1.2 DSA 和 SPECT 配套用 CT 污染源项分析

本项目肿瘤治疗项目需依托放射科 DSA 机房 1 内 1 台 DSA（属于II类射线装置）和核医学科 SPECT/CT 室 1 内 1 台 SPECT/CT（配套 CT 属于III类射线装置）。由 X 射线装置的工作原理可知，X 射线随机器的开、关而产生和消失。医院使用的 X 射线装置在非诊断状态下不产生射线，只有在开机并处于出线状态时才会发出 X 射线。因此，在开机期间，污染因子主要为 X 射线，同时会产生少量臭氧和氮氧化物。

9.3.2 非正常工况污染源项描述

（1）DSA 机房 1 或 SPECT/CT 室 1 门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房或滞留在机房内，对人员造成误照射。

（2）由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成操作人员体表污染、台面、地面辐射污染，若有药液洒漏，应及时用试纸擦拭，换下污染的防护用品作为放射性固废。

（3）由于未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染

（4）医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

表 10 辐射安全与防护

10.1 项目安全设施

10.1.1辐射工作场所布局

本项目依托放射科DSA机房1及其配套用房和核医学科工作用房形成一个整体的^{90}Y肿瘤治疗项目工作场所用于开展肿瘤治疗项目，并将病房17作为本项目^{90}Y患者专用病房。

放射科DSA机房1位于门诊医技楼1层，东侧为无菌物品库，南侧为门诊药房，西侧为控制室、机房和污物走廊，北侧为患者走廊，上方为空调机房和产物分析室，下方为地下车库。

核医学科位于核医学中心楼 1 层，该层均为核医学科用房，负一层为放疗科，二层为 ^{131}I 治疗中心等。

^{90}Y 患者专用病房位于病房楼 3 层病房 17，该层东侧为住院病房，西侧为医技区，^{90}Y 患者专用病房位于该层东南侧。东侧、南侧临空，西侧为病房 16，北侧为走廊，上方为污洗/处置间，下方为无障碍病房。

本项目放射科、核医学科和病房分别位于医院门诊医技楼、核医学中心楼和病房楼内，三栋楼均位于医院南院区。门诊医技楼东侧为院内道路、前杨道；南侧为人行广场和院区主入口；西侧为院内绿化园林；北侧为院内道路，隔路为病房楼。核医学中心楼东侧为院内绿化园林和休闲广场；南侧为院内道路，隔路为待建规划楼；西侧为非机动车停车场和下沉广场；北侧为院内道路，隔路为肿瘤中心综合楼。病房楼东侧为非机动车停车场、院内道路、前杨道；南侧为门诊医技楼；西侧为院内停车场；北侧为院内绿化园林和食堂。

本项目辐射工作场所各侧情况如表10-1所示。

表 10-1　本项目工作场所周边布局一览表

^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所	方位	周边房间及场所
门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1	东	无菌物品库
	南	门诊药房
	西	操作室、机房、污物通道
	北	患者走廊
	楼上	空调机房、产物分析室
	楼下	地下车库
核医学中心楼 1 层核	东	绿化园林、休闲广场

医学科	南	待建规划楼
	西	非机动车停车场、下沉广场
	北	肿瘤中心综合楼
	楼上	接待厅
	楼下	放疗科
病房楼 3 层病房 17（^{90}Y 患者专用病房）	东	临空
	南	临空
	西	病房 16
	北	走廊
	楼上	污洗/处置间
	楼下	无障碍病房

10.1.2 非密封放射性物质工作场所分级、分类

（1）非密封放射性物质工作场所分级

根据《关于明确核技术利用辐射安全监管有关事项的通知》（环办辐射函[2016]430号）：医疗机构使用 ^{99m}Tc 相关活动视为“很简单的操作”。

根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）：可将医疗机构 ^{90}Y 核素介入治疗过程中，活度测量、抽取与注射相关活动视为“很简单操作”。

经过毒性组别及核素的操作方式双重修正后，本项目核医学科放射性药物日最大等效操作量计算见下表。

表 10-2　本项目放射性药物日等效最大操作量计算表

工作场所	核素名称	毒性组别修正因子	操作方式修正因子	计划日最大操作量	计划日等效最大操作量	分级
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（放射科 DSA 机房 1）	^{90}Y	0.1	10（很简单操作）	2×10^{9}Bq	2×10^{7}Bq	乙级
	^{99m}Tc	0.01	10（很简单操作）	1.48×10^{8}Bq	1.48×10^{5}Bq	
	合计				2.01×10^{7}Bq	
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（核医学科）	^{90}Y	0.1	10（很简单操作）	3×10^{9}Bq	3×10^{7}Bq	乙级
	^{99m}Tc	0.01	10（很简单操作）	1.48×10^{8}Bq	1.48×10^{5}Bq	
	合计				3.01×10^{7}Bq	
注：本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（放射科 DSA 机房 1）日等效最大操作量为 2.01×10^{7}Bq，出现的情况为后一批 1 名肿瘤患者进行 ^{99m}Tc 核素肿瘤治疗前显像诊断与前一批 1 名肿瘤患者进行 ^{90}Y 核素肿瘤治疗安排于同一天中；^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（核医学科）同理。						

医院核医学科原非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.14×10^{8}Bq，新增使用本项目核素 ^{90}Y 后，核医学科非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.44×10^{8}Bq；放射科 DSA 机房 1 非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.01×10^{7}Bq。根据《电离辐射防护

与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中的划分标准，以上两个工作场所均为乙级非密封放射性物质工作场所。

（2）非密封放射性物质工作场所分类

参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）附录 G 核医学的工作场所分类，根据日操作最大量放射性核素的加权活度将场所分为三类，见表 10-3。

表 10-3　工作场所分类一览表

分类	日操作最大量放射性核素发的加权活度，MBq
I	>50000
II	50~50000
III	<50
注：加权活度=（计划的日最大操作活度×核素毒性权重因子）/操作性质修正因子	

放射性核素毒性权重因子和操作性质修正因子见表 10-4 和 10-5。

表 10-4　常用放射性核素毒性权重因子

类别	放射性核素	权重系数
A	^{75}Se、^{89}Sr、^{125}I、^{131}I、^{23}P、^{90}Y、^{99}Mo、^{153}Sm	100
B	^{11}C、^{13}N、^{13}O、^{18}F、^{51}Cr、^{68}Ga、$^{99}Tc^{m}$、^{111}In、$^{113}In^{m}$、^{123}I、^{201}Tl	1
C	^{14}C、^{3}H、$^{81}Kr^{m}$、^{127}Xe、^{133}Xe	0.01

表 10-5　不同操作性质的修正因子

操作方式和地区	修正系数
贮存	100
废物处理；闪烁法计数和显像；候诊区及诊断病床区	10
配药、分装以及施给药；简单放射性药物制备；治疗病床区	1
复杂放射性药物配置	0.1

按照表 10-4 和 10-5，本项目各场所核素权重活度计算结果见表 10-6、表 10-7。

表 10-6　放射科 DSA 机房 1 与 ^{90}Y 患者专用病房非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度（Bq）	总加权活度（Bq）	场所分类
DSA 机房 1	^{90}Y	100	1	2×10^{9}	2×10^{11}	2×10^{11}	I 类
	^{99m}Tc	1	1	1.48×10^{8}	1.48×10^{8}		
病房 17（^{90}Y 患者专用病房）	^{90}Y	100	1	2×10^{9}	2×10^{11}	2×10^{11}	I 类
	^{99m}Tc	1	1	1.48×10^{8}	1.48×10^{8}		

表 10-7　核医学科工作场所非密封放射性物质（核素）加权活度

工作场所	核素	毒性权重因子	操作性质修正因子	日操作最大活度（Bq）	放射性核素加权活度（Bq）	总加权活度（Bq）	场所分类
SPECT 分装注射服药室内的源库	^{90}Y	100	100	2×10^{9}	2×10^{9}	4.14×10^{9}	II类
	^{99m}Tc	1	100	1.48×10^{8}	1.48×10^{6}		
	核医学科原有放射性核素加权活度				2.14×10^{9}		
SPECT 分装注射服药室	^{90}Y	100	1	2×10^{9}	2×10^{11}	4.14×10^{11}	I 类
	^{99m}Tc	1	1	1.48×10^{8}	1.48×10^{8}		
	核医学科原有放射性核素加权活度				2.14×10^{11}		

SPECT/CT 室 1	^{90}Y	100	10	2×10^{9}	2×10^{10}	2.21×10^{10}	II类
	^{99m}Tc	1	10	1.48×10^{8}	1.48×10^{7}		
	核医学科原有放射性核素加权活度				2.14×10^{9}		

本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所中放射科 DSA 机房 1、^{90}Y 患者专用病房、核医学科 SPECT 分装注射服药室均属于 I 类工作场所，核医学科 SPECT 分装注射服药室内的源库、SPECT/CT 室 1 属于II类工作场所，对照《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020）中关于“按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求”，各类工作场所要求见下表 10-8。

表 10-8　按不同级别工作场所用房室内表面及装备结构的基本放射防护要求

种类	分类		
	I	II	III
结构屏蔽	需要	需要	不需要
地面	与墙壁接缝无缝隙	与墙壁接缝无缝隙	易清洗
表面	易清洗	易清洗	易清洗
分装柜	需要	需要	不必须
通风	特殊的强制通风	良好通风	一般自然通风
管道	特殊的管道 [a]	普通管道	普通管道
盥洗与去污	洗手盆 [b] 和去污设备	洗手盆 [b] 和去污设备	洗手盆 [b]
注 [a]：下水道宜短，大水流管道应有标记以便维修检测。 [b]：洗手盆应为感应式或脚踏式等手部非接触开关控制。			

医院已按表 10-8 的要求，在辐射工作区的地面采取易清洁、不易渗透的材料，如 PVC 胶；墙面采取易清洁不易渗透的瓷砖，地板和墙壁接缝采用无缝隙设计；工作台表面采用易清洗的不锈钢材料；含放射性废液的排水管道在满足需要的情况下，尽量缩短管道长度，并做有标记。

10.1.3工作场所分区原则和区域划分情况

（一）分区依据和原则

为了便于加强管理，切实做好辐射安全防范工作，按照《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）要求在辐射工作场所内划出控制区和监督区。

控制区：在正常工作情况下控制正常照射或防止污染扩散，以及在一定程度上预防或限制潜在照射，要求或可能要求专门防护手段和安全措施的限定区域。在控制区的进出口及其他适当位置处设立醒目的警告标志并给出相应的辐射水平和污染水平的指示。运用行政管理程序如进入控制区的工作许可证和实体屏蔽（包括门锁和联锁装置）限制进出控制区，放射性操作区应与非放射性工作区隔开。

监督区：未被确定为控制区，正常情况下不需要采取专门防护手段或安全措施，但

要不断检查其职业照射状况的制定区域。在监督区入口处的合适位置张贴辐射危险警示标记；并定期检查工作状况，确认是否需要防护措施和安全条件，或是否需要更改监督区的边界。

（二）本项目控制区和监督区划分

控制区：将放射科 DSA 机房 1 内部划为控制区；将 1 层核医学科 SPECT/CT 室 1、走廊、SPECT 分装注射服药室和污物暂存处置室划为控制区；将 3 层病房 17（^{90}Y 患者专用病房）划为控制区。在控制区的进出口及适当位置处设置醒目的电离辐射警告标志和工作状态指示灯。制定辐射安全防护管理制度，严格限制无关人员进出控制区，在正常工作过程中，区内不得有无关人员进入。

监督区：将放射科 DSA 机房 1 操作室、设备机房划为监督区；将 1 层核医学科控制室、SPECT 设备间和卫生通过间划为监督区。该区不采取专门防护手段安全措施，但要定期检测其辐射剂量率。在正常工作过程中，区内不得有无关人员滞留。具体划分情况见表 10-8 和图 10-1、图 10-2、图 10-3。

表 10-8　本项目控制区和监督区划分情况

场所		控制区	监督区
^{90}Y肿瘤治疗项目工作场所	放射科DSA机房 1	DSA机房 1 内部	操作室、设备机房
	核医学科工作场所	SPECT/CT室 1、走廊、SPECT分装注射服药室、污物暂存处置室	控制室、SPECT设备间、卫生通过间
	^{90}Y患者专用病房	病房 17（^{90}Y患者专用病房内部）	/
注：本项目仅描述本项目相关用房控制区和监督区划分，其余区域两区划分按照原环评要求进行划分。			

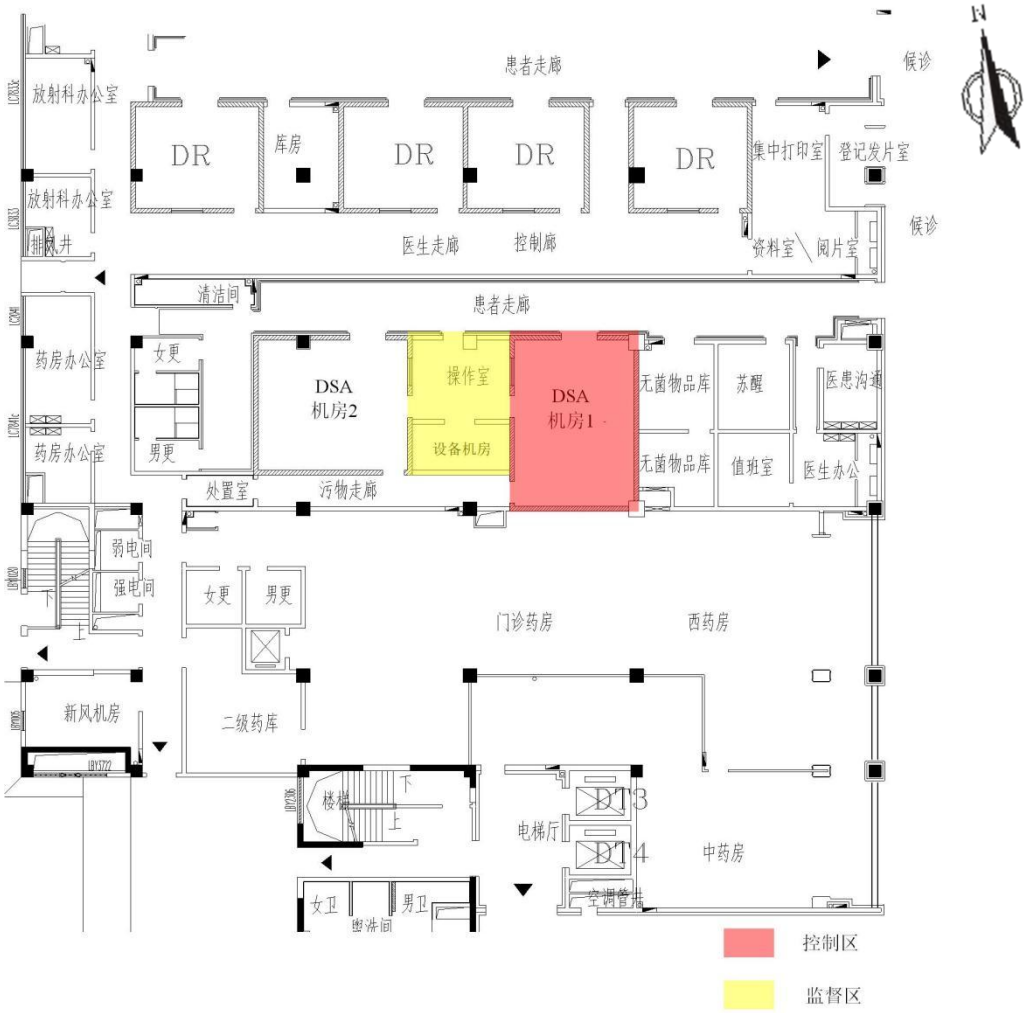


图 10-1　DSA 机房 1 周边两区划分图

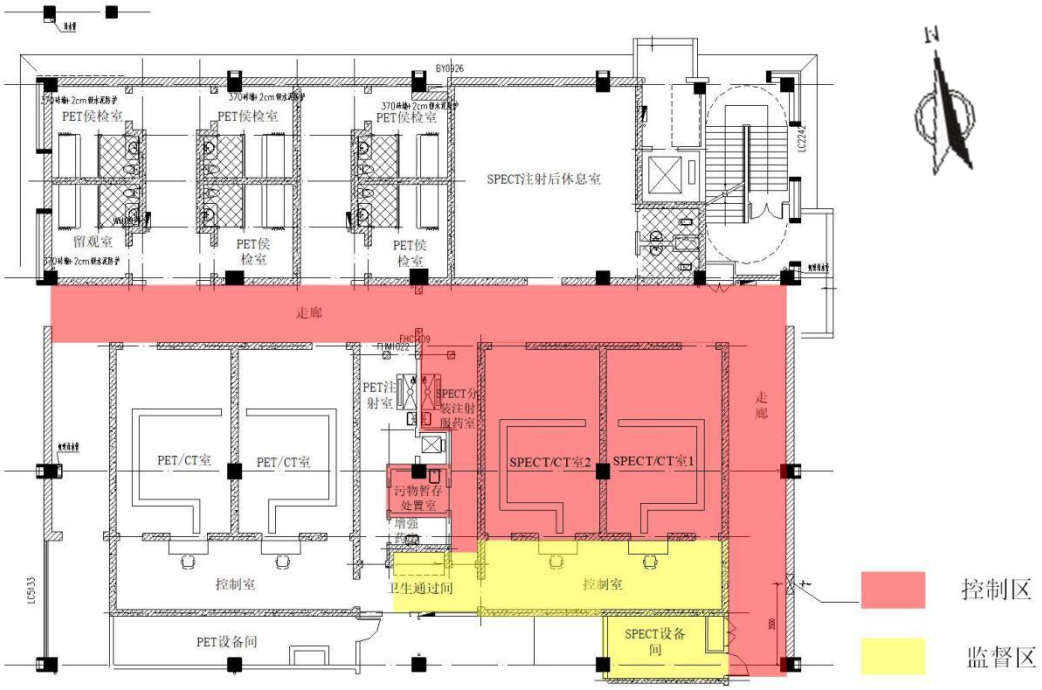


图 10-2　　核医学科两区划分图

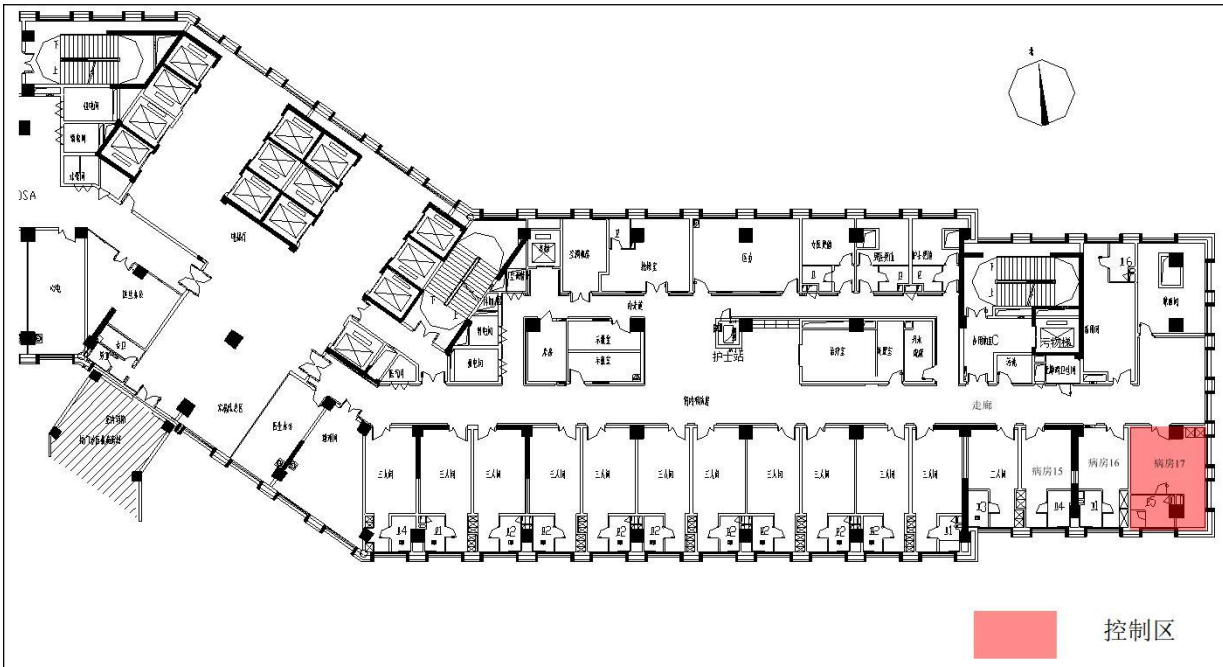


图 10-3　^{90}Y 患者专用病房周边两区划分图

关于控制区与监督区的防护手段与安全措施，医院应做到：

A、控制区防护手段与安全措施

i）控制区进出口及其它适当位置处设立醒目的警告标志；

ii）制定辐射防护与安全管理措施，包括适用于控制区的规则和程序；

iii）运用行政管理程序（如进入控制区的工作许可制度）和实体屏障（包括门锁）限制进出控制区；

iv）在进入药物分装及注射间前卫生通过间应有个人防护用品、工作服、表面污染监测仪、消洗设施和被污染防护衣具的贮存柜等；

v）定期审查控制区的实际状况，以确保是否有必要改变该区的防护手段、安全措施或该区的边界。

B、监督区防护手段与安全措施

i）以黄线警示监督区的边界；

ii）在监督区的入口处的适当地点设立表明监督区的标牌；

iii）定期检查该区的条件，以确定是否需要采取防护措施和做出安全规定，或是否需要更改监督区的边界。

10.1.4 工作场所屏蔽设计

（1）辐射工作场所屏蔽设计

根据医院提供资料，本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所辐射防护屏蔽设计参数表见

表 10-9。

表 10-9　本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所屏蔽防护情况一览表

核医学科		
名称	屏蔽体	主要屏蔽材料及厚度
SPECT/CT 室 1	四侧墙体	30cm 混凝土
	顶棚	30cm 混凝土
	地坪	30cm 混凝土
	防护门	内衬 4mm 铅板
	观察窗	4mmPb 铅玻璃
SPECT 分装注射服药室	四侧墙体	30cm 混凝土
	顶棚	30cm 混凝土
	地坪	30cm 混凝土
	防护门	内衬 6mm 铅板
	手套箱	30mmPb 铅玻璃
控制室	四侧墙体	30cm 混凝土
	顶棚	30cm 混凝土
	地坪	30cm 混凝土
	防护门	内衬 4mm 铅板
	观察窗	4mmPb 铅玻璃
放射科 DSA 机房 1		
DSA 机房 1	四侧墙体	24cm 实心砖+1mm 铅板
	顶棚	15cm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护涂料
	地坪	15cm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护涂料
	防护门	内衬 3mm 铅板
	观察窗	3mmPb 铅玻璃
病房 17（^{90}Y 患者专用病房）		
病房 17（^{90}Y 患者专用病房）	墙体	25cm 自保温砌块
	顶棚	15cm 混凝土
	地坪	15cm 混凝土
注：混凝土密度不低于 2.35g/cm^3，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm^3，轻质墙体不考虑辐射屏蔽防护。		

本项目所涉及的 DSA 属于 II 类射线装置，SPECT/CT 属 III 类射线装置，其屏蔽设计及有效使用面积、最小单边长度和屏蔽防护设计与《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）符合性如表 10-10 和表 10-11 所示。

表 10-10　机房有效使用面积和最小单边长度一览表

机房	拟设置情况		标准要求		是否相符
	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	最小单边长度（m）	有效使用面积（m^2）	
DSA 机房 1	6.02	50.19	3.5	20	是
SPECT/CT 室 1	5.00	40.00	4.5	30	是

表 10-11　DSA 机房 1 和 SPECT/CT 室 1 屏蔽防护设计评价表

机房名称	屏蔽体	屏蔽材料及厚度	折算后铅当量（mm）	标准要求（mm）	是否符合要求
DSA 机房 1	四侧墙体	24cm 实心砖+1mm 铅板	3.0mmPb	有用线束方	是

	顶棚	15cm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护涂料	2.87mmPb	向 2mmPb 当量，非有用线束方向铅当量 2mmPb 当量。	是
	地坪	15cm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护涂料	3.05mmPb		是
	防护门	内衬 3mm 铅板	3.0mmPb		是
	观察窗	3mmPb 铅玻璃	3.0mmPb		是
注：1、混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 中表 C.5，当管电压为 125kV（主束方向）时，得 150mm 混凝土=1.87mmPb；当管电压为 125kV（散射方向）时，得 150mm 混凝土=2.05mmPb。 2、由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供实心砖在 125kV 非有用线束方向上的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算。故参考《放射防护实用手册》（主编赵兰才、张丹枫）表 6.14，实心砖密度取 1.65g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，240mm 实心砖=2mmPb。 3、参考《放射防护实用手册》表 6.14，硫酸钡防护涂料密度不低于 2.79g/cm³。					
SPECT/CT 室 1	四侧墙体	30cm 混凝土	3.77mmPb	有用线束及非有用线束方向铅当量均为 2.5mmPb	是
	顶棚	30cm 混凝土	3.77mmPb		是
	地坪	30cm 混凝土	3.77mmPb		是
	防护门	内衬 4mm 铅板	4.0mmPb		是
	观察窗	4mmPb 铅玻璃	4.0mmPb		是
注：1、由于《放射诊断放射防护要求》（GBZ 130-2020）附录 C 中未提供混凝土在 130kV（CT 上）的拟合参数，无法进行等效铅当量厚度的计算。故本报告采取混凝土在 140kV（CT）上的拟合参数核算等效屏蔽厚度。 2、混凝土密度取 2.35g/cm³ 核算等效屏蔽厚度，折算铅当量参考《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中附录 C 中表 C.4，当管电压为 140kV（CT）时，得顶棚 300mm 混凝土=3.77mmPb。 3、以上铅当量折算仅是相对于 X 射线的折算。					

10.1.5 ^{90}Y肿瘤治疗工作场所辐射安全和防护、环保相关设施

（1）核医学科区域辐射安全措施

①SPECT/CT 室 1 防护门上方安装工作状态指示灯，灯箱上设置“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句，并设置门灯联锁装置，SPECT/CT 室 1 与控制室之间设置对讲装置与监视器。

②在 SPECT/CT 室 1 防护门、SPECT 分装注射服药室防护门、手套箱、衰变桶等处设置电离辐射警告标志；监督区和控制区入口设置警示标识，场所内设置导诊路径。

③核医学科进出防护门均设单向门禁（只进不出或只出不进），严禁带药受检者随意进出，严禁无关人员滞留或误入。控制室内设有监视和对讲系统，受检者通道内的相应位置设置视频监控系统，监控显示屏拟设置在控制室内，以便于控制室工作人员及时掌握病人状态和活动情况，及时发现突发情况并及时进行处理。

④核素操作在独立的手套箱内进行，手套箱材质主要为铅板，正面为铅玻璃，综合防护当量不低于 30mmPb，手套箱通风速率不小于 0.5m/s，设独立排风管道，工作人员穿戴相应的防护用品。

⑤SPECT 分装注射服药室内的源库保险柜实行视频监控和双人双锁管理，并做好防火、防盗措施。药物交接过程实行双人交接，对于核素种类、生产单位、活度、出入库使用及注销等，严格登记建档。

（2）放射科DSA机房 1 区域辐射安全措施

①本项目所用的 DSA 从正规厂家购买，根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）中对 X 射线设备防护性能的技术要求，设备本身采取了多种固有安全防护措施。

②门灯联锁：机房防护门上方设置醒目工作状态指示灯，灯箱上设置如“射线有害、灯亮勿入”的可视警示语句。防护门设有自动闭门装置，工作状态指示灯能与机房门有效关联。候诊区设置放射防护注意事项告知栏。

③急停装置：操作室控制台上、手术床旁设置急停开关（各开关分别与 X 射线系统连接）。X 射线系统出束过程中，一旦出现异常，按动急停开关，可停止 X 射线系统出束，并在急停开关旁设置醒目的中文提示。

④视频监控和对讲装置：在 DSA 机房与操作室之间安装 1 套视频监控和对讲装置，操作室的工作人员通过对讲机与机房内的手术人员联系，同时可以实时监控机房内情况。

⑤警告标志：DSA 机房 1 门外醒目位置设置电离辐射警告标志和中文说明。

⑥DSA 机房 1 受检者防护门均为电动平移门，且设有防夹装置，工作人员防护门为平开门，设置有自动闭门装置。

⑦机房受检者出入口门外应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。手术期间，陪护人员禁止进入监督区域和控制区域。防护门外的醒目位置设置明显的电离辐射警告标志，电离辐射警告标志须符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）附录 F 要求。

⑧本项目所依托的放射科 DSA 机房 1 并非 ^{90}Y 治疗项目专用机房，故 DSA 机房 1 内核素操作完成后，辐射工作人员拟对整个机房进行表面污染测定，确认无表面污染后，方可进行其他手术，若发现表面污染，须用放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

（3）病房区域辐射安全措施

①^{90}Y 发出的β射线最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.934MeV。在人体组织中的

最大射程约 11mm，射线影响在很大程度上将限制在患者身体内，但是仍应遵守以下预防措施：如果需要更换输注药物部位/伤口的敷料，护理人员应佩戴手套。将使用过的敷料和手套放在固体废弃物袋子中，统一收集处理。

②为了提示患者是有潜在放射性危害的，应当在床头放置一个写有放射性危害的标牌并且患者应当佩带一条具有电离辐射危害标志的身份腕带以示放射危险。

③^{90}Y 患者专用病房门外醒目位置设置电离辐射警告标志和中文说明，门外地面应设置黄色警戒线，告诫无关人员请勿靠近。

④放射性衰变桶表面拟设置符合GB18871-2002 规范的电离辐射警告标志，并附中文警示说明。

（4）放射性药物的存放控制措施

本项目使用的放射性药物提前向供药厂家订购，供药厂家在约定的时间，将预约用量的药物送至核医学科SPECT分装注射服药室内的源库，医院安排专人接收放射性核素，经确认无误完成相关交接手续后暂存在核医学科SPECT分装注射服药室内的源库储源铅箱内。

医院必须配备专（兼）职人员负责放射性药物的管理并建立健全放射性物质的保管、领用、注销登记和定期检查制度。要求设置专门的台账（如交收账、库存帐、消耗账），加强对放射性药物的管理，严防丢失。放置放射性物质的容器，必须容易开启和关闭，容器外必须有明显的标签（注明元素名称、理化状态、射线类型、活度水平、存放起止时间、存放负责人等）。放射性药物要设有专门可靠的防火防盗等安全设施的贮存场所，且不得将放射性药物与易燃易爆及其他危险物品放在一起。

（5）表面污染控制措施

为保证非密封源工作场所的表面污染水平达到《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准，环评提出以下管理措施和要求：

①放射性药物应当有良好的外包装，送入后要妥善储存及转移，防止意外撒漏；

②操作放射性药物时，手术台面和地面需铺垫吸水纸，工作人员需穿手术服，防止放射性物质撒漏；

③放射性药物操作人员应当定期参加相关专业培训，具备相应的技能与防护知识，并配备有适当的防护用品。

④操作台、地面应当选用易于清污的材料或材质，并且每次操作完成后应当使用表

面污染监测仪器对操作台、地面、个人防护用品等进行表面污染监测，并购买放射性表面去污用品和试剂进行去污，以满足《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中规定的标准值。

（6）人员防护措施

①辐射工作人员的防护

在实际工作中，为了减少辐射工作人员所受到的照射剂量，普遍采用屏蔽防护、时间防护和距离防护。

屏蔽防护：通过场所的有效实体屏蔽辐射源产生的辐射危害；为核素操作人员配备铅防护手套、铅衣等个人防护用品。^{99m}Tc 注射器配备注射防护套防护和注射器铅防护盒，^{90}Y 注射器配备有机玻璃和铅玻璃注射器防护盒。

时间防护：在满足工作质量的前提下，尽量减少扫描时间，使照射时间最小化。

距离防护：在不影响工作质量的前提下，保持与辐射源尽可能大的距离，使距离最大化。

②其他人员防护

屏蔽防护：辐射工作场所外围环境中的其他人员主要依托辐射场所墙体、顶棚、门、窗等实体进行屏蔽防护。

时间防护：设置明显的警示措施，提示其他人员尽可能减少在辐射工作场所周围的停留时间。

距离防护：设置必要的防护、隔离、警示措施，尽可能增大人员与辐射场所之间的防护距离。

（7）操作过程中的防护措施

医生在进行放射性药品分装、测量活度、注射操作时首先做好个人防护，包括穿戴铅衣，铅眼镜、铅手套、口罩、工作帽等，均具备 0.5mmPb 当量。

分装、测量活度时药品、铅罐均放置在垫有滤纸的瓷盘内进行，以防止放射性药液洒漏造成操作台污染，分装、测量活度时工作人员与药品之间采用 4mmPb 铅玻璃隔档。核医学科 SPECT 分装注射服药室内设有 10mmPb 废物铅桶，用于暂时收集放射性废物。

（8）对注射后病人防护措施

首先告知病人及家属辐射可能带来的危害性，患者要与陪护人员实行隔离，陪护人员不允许在辐射工作场所内驻留，医院需要划定专门的陪护人员等候区并尽量远离非密

封源工作场所，同时需要求患者在手术后在专用病房内静候，禁止随意走动，并在患者腹部盖有 2mmPb 铅方巾（核素 ^{90}Y 发出的β射线最大能量为 2.284MeV，平均能量为 0.934MeV，在人体组织中的最大射程约 11mm，射线影响在很大程度上将限制在患者身体内。但是需考虑β射线与人体产生的韧致辐射，会对周围环境及公众产生影响，故采取有 2mmPb 铅方巾是有必要的，且本项目手术产生的创口很小，采取铅方巾遮盖是可行的）。注射后的病人移动路径为：放射科 DSA 机房 1→核医学科 SPECT/CT 室 1→^{90}Y 患者专用病房，当病人在本项目相关的机房、病房内进行手术、扫描、术后观察时，防护措施主要依靠机房、病房的屏蔽防护以及房间内配备的防护设备和防护用品，见表 10-11、表 10-12 和表 10-13；注射后的病人会在陪护人员的引导下，按照医院的规划，选择尽可能短的转运路线，且避开人流密集区域，以尽可能降低对公众的影响。

当病人在本项目各个场所之间转运时，防护措施主要依靠盖在病人手术部位的 2mmPb 铅方巾以及陪护人员的正确引导。

（9）防护设备与防护用品

本项目依托核医学中心楼 1 层核医学科和门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1，新增使用核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 用于开展肿瘤治疗项目。核医学科和放射科 DSA 机房 1 拟配备相关防护设备与防护用品，防护用品见表 10-12。医院结合本项目的情况，拟新增配置的防护用品见表 10-13。

表 10-12　核医学科和放射科 DSA 机房 1 已配备的防护用品/设施一览表

核医学科				
序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	放射源储存铅桶	SPECT 分装注射服药的室内源库	2 个	^{99m}Tc：6mmPb
2	放射性废物铅衰变箱	污物暂存处置室	2 个	20mmPb
3	移动式防护防护屏	SPECT/CT 室 1	1 个	4mmPb
4	脚踏式铅桶		1 个	10mmPb
5	SPECT/CT 注射防护窗	SPECT 分装注射服药室	1 台	4mmPb
6	铅注射防护套		2 个	^{99m}Tc：4mmPb
7	个人剂量报警仪		2 台	/
8	通风橱		1 台	30mmPb
9	脚踏式铅桶		1 个	10mmPb
10	铅橡胶防护衣，铅橡胶颈套、铅防护眼镜、铅橡胶帽子		4 套	0.5mmPb
11	表面污染仪、X-γ辐射剂量率仪	卫生通过间	1 套	/
12	去污工具组		2 套	/
13	工作服、工作帽、工作鞋、手套、口罩等	/	按需购买	/

14	个人剂量计	/	按需购买	/
病房 17				
序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	表面污染仪	病房 17	1 台	/
2	铅橡胶性腺防护围裙（方形）或方巾、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子各、铅防护衣		1 套	0.5mmPb
放射科 DSA 机房 1				
序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	铅橡胶围裙、铅橡胶颈套、铅橡胶帽子、铅防护眼镜	DSA 机房 1	4 套	0.5mmPb
2	介入防护手套		3 套	0.025mmPb
3	铅悬挂防护屏、铅防护吊帘、床侧防护帘、床侧防护屏		1 套	0.5mmPb
4	X-γ辐射剂量率仪		1 台	/
5	个人剂量报警仪		2 台	/
6	个人剂量计		按需购买	/

表 10-13　^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所拟新增的防护用品/设施一览表

序号	种类名称	设置场所	数量	铅当量
1	^{90}Y 防护铅罐	SPECT 分装注射服药的室内源库	1 个	6mmPb
2	手套箱		1 台	30mmPb
3	^{99m}Tc 注射器防护套	DSA 机房 1	1 个	4mmPb
4	^{90}Y 注射器防护盒		1 个	15mm 有机玻璃
5	铅方巾		2 块	2mmPb
6	脚踏式铅桶		1 个	10mmPb
7	表面污染仪		1 台	/
8	脚踏式铅桶	病房 17	1 个	2mmPb

10.3 “三废”治理措施

10.3.1 放射性三废

（1）放射性废气

本项目放射性药物 ^{99m}Tc、^{90}Y 为非挥发性核素，待注射前放置于铅罐中，注射时药物在针筒或 V 型瓶中内，在操作过程中无开放液面，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

（2）放射性废水

本项目放射性废水主要为进行 ^{90}Y 树脂微球治疗的患者住院期间产生的排泄物，排泄物中含有 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 核素。根据《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心）可知，患者在接受 ^{90}Y 树脂微球核素治疗后，0~24h

每例患者尿液中 ^{90}Y 核素总活度最大为 $3.11\times10^{5}Bq$，低于《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》中单次放射性废水排放总活度($7.41\times10^{6}Bq$)的相关要求；患者 24h 排出的含 ^{90}Y 核素放射性废液的最大活度为 $4.93\times10^{4}Bq/L$，低于豁免活度浓度 $1\times10^{6}Bq/L$。同理含 ^{99m}Tc 核素废水也低于单次放射性废水排放总活度和豁免活度浓度。因此不将患者排泄产生的废水作为放射性废水考虑，住院期间产生的废水可直接排放入医院污水处理站。

（3）放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物。若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。以及剩余的 ^{90}Y 树脂微球作为放射性废物。

针对该部分污染物，医院拟采取以下处理方案：

①核医学科 SPECT 分装注射服药室、放射科 DSA 机房 1 和专用病房内各设置 1 个脚踏式铅桶，核医学科污物暂存处置室设置 1 个放射性废物铅衰变箱。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。

②每次工作结束后，将产生的废物分类转移至核医学科污物暂存处置室的放射性废物衰变箱内，每袋放射性固废须注明核素种类、废物的类别、转入时间，做好台账记录。

③含 ^{99m}Tc 放射性固废待储存超过 30 天，含 ^{90}Y 放射性固废储存超过十个半衰期后，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 $0.8Bq/cm^{2}$，对废物清洁解控并作为医疗废物进行处理。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先分类收集在各自相关工作场所的专用废物桶内，再将放射性废物桶内的固体废弃物连同垃圾袋分期存放到核医学科污物暂存处置室的放射性废物衰变箱内，集中收储一段时间后再分类处理。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）的“放射性固体废物贮存单位应当建立放射性固体废物贮存情况记录档案，

如实完整地记录贮存的放射性固体废物的来源、数量、特征、贮存位置、清洁解控、送交处置等与贮存活动有关的事项”等相关规定。

10.3.2 DSA和SPECT/CT配套用CT

DSA 诊疗过程使用的造影剂不含放射性；DSA 和 SPECT/CT 配套用 CT 均采用先进的数字显影技术，不会产生废显影液、废定影液和废胶片。

DSA 和 SPECT/CT 配套用 CT 在曝光过程中因 X 射线对空气的电离产生的少量臭氧和氮氧化物，医院根据《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）标准要求，机房内设置动力排风装置，并保持良好的通风。

表 11 环境影响分析

11.1 建设阶段对环境的影响

本项目依托现有的核医学科 SPECT/CT 室 1、控制室、SPECT/CT 分装注射服药室和放射科 DSA 机房 1、DSA 机房操作室、无菌物品库形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所用于开展肿瘤治疗项目，并将病房楼 3 层东侧病房 17 作为本项目 ^{90}Y 患者专用病房不新增用房，无施工期。

11.2 营运期环境影响分析

11.2.1 β射线辐射环境影响分析

本项目涉及使用的 ^{90}Y 核素在衰变过程中会有β射线，根据《放射防护实用手册》（主编：赵兰才、张丹枫），β射线在介质中的射程可采用下式计算：

$$d = \frac{1}{2\rho} E_{MAX} \quad \text{……（式 11-1）}$$

式中：

d—最大射程，cm；

ρ—屏蔽材料密度，g/cm^3；

E_{MAX}—β粒子的最大能量，MeV。

^{90}Y 核素发射纯β射线，最高能量达 2.284MeV，其衰变产生的β射线在空气、铅板和铅玻璃中的射程见表 11-1。

表 11-1 ^{90}Y 核素β射线在屏蔽材料中理论最大射程

序号	材料	有效原子序数	密度ρ（g/cm^3）	射程（cm）
1	空气	7.36	1.29×10^{-3}	835
2	有机玻璃	5.85	1.18	0.93
3	铅	82	11.34	0.097
4	水	6.66	1	1.1

经计算可知，放射性核素 ^{90}Y 产生的β射线在空气中的射程很短，为 835cm，而本项目 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所设置了足够的空间，且有墙体和铅门进行屏蔽，同时β射线在有机玻璃中的射程最大为 0.93cm，在铅中的射程最大为 0.097cm，医护人员在操作过程中穿戴 0.5mm 铅当量的防护服，且在 15mm 有机玻璃的屏蔽下进行 ^{90}Y 的分装、测量活度和注射，故放射性核素 ^{90}Y 产生的β射线对周围环境影响很小。

屏蔽强β粒子的高原子序数材料会产生韧致辐射。根据《辐射防护导论》，对β辐射

源，韧致辐射采用下式进行计算。

$$H_r = 4.58 \times 10^{-14} A \cdot Z_e \cdot (\frac{E_b}{r})^2 \cdot (\frac{\mu_{en}}{\rho}) \cdot q \cdot \eta \quad （式 11-2）$$

式中：

H_r——距离屏蔽层源 r 米处的辐射剂量率，Gy/h；

r——参考点与屏蔽层的距离，m；

A ——放射源活度，Bq；

Z_e——屏蔽材料的有效原子序数，取自《辐射防护导论》表 4.4，本项目关注点位 1 取 5.85（有机玻璃），其余关注点位取 6.66（水）；

E_b——韧致辐射的平均能量 E_b 是入射β粒子的最大能量的 1/3，即 $E_b=E_{max}/3$，MeV，本项目取 0.76MeV；

μ_{en}/ρ——平均能量为 E_b 的韧致辐射在空气中的质量能量吸收系数，m^2/kg，取自《辐射防护导论》附表 1，本项目关注点位 1 取 $4.350\times10^{-3}m^2/kg$（铅玻璃），其余关注点位取 $3.205\times10^{-3}m^2/kg$（水）；

q——参考点所在区域相应的居留因子，保守取 1；

η——透射比，根据公式$\eta=10^{-d/TVL}$ 得出（其中 TVL 屏蔽层在 X 射线平均能量下的什值层厚度，由《辐射防护导论》表 3.5 查得 ^{90}Y 在铅和混凝土中分别取值：1.75cm、13.45cm）。

表 11-2　^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所韧致辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离（m）	源强（Bq）	屏蔽厚度	透射比	辐射剂量率（μSv/h）
1#	SPECT 分装注射服药室	取药位	0.3	^{90}Y 3×10^9	6mmPb铅罐+30mmPb手套箱	8.77×10^{-3}	0.20
		药物转运	1	^{90}Y 3×10^9	6mmPb铅罐	0.45	0.92
2#	SPECT/CT 室 1	摆位处	1	^{90}Y 2×10^9	0.5mmPb防护用品+4mmPb铅屏风	0.55	0.63
3#		东侧墙体外 30cm处（走廊）	3.2	^{90}Y 2×10^9	30cm混凝土	5.88×10^{-3}	6.49×10^{-4}
4#		南侧观察窗外 30cm处（控制室）	4.5	^{90}Y 2×10^9	4mmPb铅玻璃	0.59	3.29×10^{-2}
5#		上方 100cm 处（接待厅）	3.9	^{90}Y 2×10^9	30cm混凝土	5.88×10^{-3}	4.37×10^{-4}
6#		下方 170cm 处	2.2	^{90}Y 2×10^9	30cm混凝土	5.88×10^{-3}	1.37×10^{-3}

		（放疗科）					
7#	放射科DSA机房1	药物注射位	1	^{90}Y 2×10^{9}	0.5mmPb铅衣	0.94	1.06
8#		患者体外1m处	1	^{90}Y 2×10^{9}	2mmPb铅方巾+0.5mm铅衣	0.72	0.81
9#		南侧墙体外30cm处（门诊药房）	4.1	^{90}Y 2×10^{9}	24cm实心砖+1mm铅板	4.90×10^{-2}	3.29×10^{-3}
10#		西侧观察窗外30cm处（操作室）	3.5	^{90}Y 2×10^{9}	3mmPb铅玻璃	0.67	6.21×10^{-2}
11#		北侧墙体外30cm处（患者走廊）	4.1	^{90}Y 2×10^{9}	24cm实心砖+1mm铅板	4.90×10^{-2}	3.29×10^{-3}
12#		上方100cm处（产物分析室）	3.9	^{90}Y 2×10^{9}	15cm混凝土+1mmPb硫酸钡防护涂料	6.26×10^{-2}	4.65×10^{-3}
13#		下方170cm处（地下车库）	2.2	^{90}Y 2×10^{9}	15cm混凝土+1mmPb硫酸钡防护涂料	6.26×10^{-2}	1.46×10^{-2}
14#	病房17（^{90}Y患者专用病房）	查房处	1	^{90}Y 2×10^{9}	2mmPb铅方巾	7.69×10^{-1}	0.87
15#		西侧墙体外30cm处（病房16）	3.0	^{90}Y 2×10^{9}	2mmPb铅方巾	7.69×10^{-1}	9.64×10^{-2}
16#		北侧门外30cm处（走廊）	3.6	^{90}Y 2×10^{9}	2mmPb铅方巾	7.69×10^{-1}	6.70×10^{-2}
17#		上方100cm处（污洗/处置间）	3.9	^{90}Y 2×10^{9}	2mmPb铅方巾+15cm混凝土	5.89×10^{-2}	4.38×10^{-3}
18#		下方170cm处（无障碍病房）	2.2	^{90}Y 2×10^{9}	2mmPb铅方巾+15 cm混凝土	5.89×10^{-2}	1.38×10^{-2}

注：根据《辐射防护导论》，将γ射线减弱一定程度所需物质厚度d与物质的密度ρ成反比关系（d1/d2=ρ2/ρ1）。本项目使用的实心砖为1.65g/cm^3，硫酸钡水泥密度为2.79g/cm^3，混凝土密度为2.35g/cm^3，预测时将实心砖和硫酸钡水泥厚度折合为混凝土厚度。如本表9#和11#点位屏蔽材料及厚度为24cm实心砖+1mm铅板，经密度折算后等效16.85cm混凝土+1mm铅板；本表12#和13#点位屏蔽材料及厚度为15cm混凝土+1mmPb硫酸钡防护涂料，保守考虑1mmPb硫酸钡防护涂料=1cm硫酸钡防护涂料，经密度折算后等效15cm混凝土+1.19cm混凝土=16.19cm混凝土。

根据预测结果，本项目^{90}Y肿瘤治疗项目工作场所韧致辐射所致手套箱表面剂量率、控制区内屏蔽体外表面30cm处、控制区外屏蔽体表面30cm处的周围剂量当量率预测值均小于《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）相关要求，工作场所防护屏蔽满足要求。

11.2.2 β表面污染环境影响分析

β表面沾污的影响主要来源于医生操作时，放射性物质逸出或飞散在操作台、地板、

墙壁、个人防护用品等表面，对职业人员和公众造成辐射影响。因此，为了使本项目非密封放射性物质工作场所的β表面污染水平达到 GB18871-2002 规定的要求，环评要求建设方要做到以下防护措施：

①使用、操作放射性同位素的人员应经过培训，具备相应的技能与防护知识；

②操作液体放射性物质应在易去除污染的工作台上放置的搪瓷盘内进行，并铺以吸水性好的材料；

③吸取液体的操作必须用合适的器具，严禁用口吸取；

④不允许用裸露的手直接接触放射性物质或进行污染物件操作；

⑤放射性操作之后应对工作台、设备、地面及个人防护用品等进行表面污染检查清洗、去污，工作人员应进行淋浴；

⑥放射性药品使用后应及时存放在专用柜内，需防盗、防水、防火、柜外应有电离辐射标志；

⑦如β表面污染水平超过 GB18871-2002 规定值，医院应暂停开展核医学活性区的相关业务，去污染经监测符合标准后方可重新开展业务。

11.2.3放射性核素产生的γ射线辐射环境影响分析

^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所屏蔽计算公式参考《核医学放射防护要求》（GBZ120-2020），按照点源模式进行估算，辐射剂量率估算公式见下式。^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所涉及核素辐射剂量率估算相关参数取值表见下表。

$$H=10^{-X/TVL}\cdot A\cdot \Gamma/R^2 \quad \text{……（式 11-3）}$$

式中：

H——屏蔽体外关注点剂量率，单位为μSv/h；

X——屏蔽厚度，单位为 mm；

A——单个患者或受检者所用放射源的最大活度，单位为 MBq；

Γ——距源 1m 处的周围剂量当量率常数，单位为μSv·m^2/(h·MBq)；

R——参考点与放射源间的距离，m。

表 11-3　核素辐射剂量率估算相关参数取值表

核素名称	^{99m}Tc
铅什值层厚度 mm（ρ=11.3t/m^3）	1
混凝土什值层厚度 mm（ρ=2.35t/m^3）	110
砖什值层厚度 mm（ρ=1.65t/m^3）	160
周围剂量当量率常数(裸源)μSv·m^2/(h·MBq)	0.0303

患者体外 1m 处的周围剂量当量率μSv·m²/(h·MBq)	0.0207

根据式 11-3，^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所辐射剂量率计算结果见表 11-4，关注点位置见图 11-1、图 11-2、图 11-3。

表 11-4 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所辐射剂量率计算结果

序号	位置		距离（m）	源强（Bq）	屏蔽厚度	辐射剂量率（μSv/h）
1#	SPECT 分装注射服药室	取药位	0.3	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	6mmPb铅罐+30mmPb手套箱	4.98×10^{-35}
		药物转运	1	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	6mmPb铅罐	4.48×10^{-6}
2#	SPECT/CT 室 1	摆位处	1	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	0.5mmPb防护用品+4mmPb铅屏风	9.69×10^{-5}
3#		东侧墙体外 30cm处（走廊）	3.2	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	30cm混凝土	5.61×10^{-4}
4#		南侧观察窗外 30cm处（控制室）	4.5	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	4mmPb铅玻璃	1.51×10^{-5}
5#		上方 100cm 处（接待厅）	3.9	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	30cm混凝土	3.77×10^{-4}
6#		下方 170cm 处（放疗科）	2.2	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	30cm混凝土	1.19×10^{-3}
7#	DSA 机房 1	药物注射位	1	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	0.5mmPb铅衣	1.42
8#		患者体外 1m 处	1	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	2mmPb铅方巾+0.5mm铅衣	9.69×10^{-3}
9#		南侧墙体外 30cm处（门诊药房）	4.1	$^{99m}Tc1.48\times110^{8}$	24cm实心砖+1mm铅板	5.76×10^{-4}
10#		西侧观察窗外 30cm处（操作室）	3.5	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	3mmPb铅玻璃	2.50×10^{-4}
11#		北侧墙体外 30cm处（患者走廊）	4.1	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	24cm实心砖+1mm铅板	5.76×10^{-4}
12#		上方 100cm 处（产物分析室）	3.9	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	15cm混凝土+1mmPb硫酸钡防护涂料	6.80×10^{-3}
13#		下方 170cm 处（地下车库）	2.2	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	15cm混凝土+1mmPb硫酸钡防护涂料	2.14×10^{-2}
14#	病房 17（^{90}Y 患者专用病房）	查房处	1	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	2mmPb铅方巾	3.06×10^{-2}
15#		西侧墙体外 30cm处（病房 16）	3.0	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	2mmPb铅方巾	3.40×10^{-3}
16#		北侧门外	3.6	$^{99m}Tc1.48\times10^{8}$	2mmPb铅方巾	2.36×10^{-3}

		30cm处（走廊）				
17#		上方 100cm处（污洗/处置间）	3.9	^{99m}Tc1.48×10^{8}	2mmPb铅方巾+15cm混凝土	1.47×10^{-3}
18#		下方 170cm处（无障碍病房）	2.2	^{99m}Tc1.48×10^{8}	2mmPb铅方巾+15 cm混凝土	4.62×10^{-3}

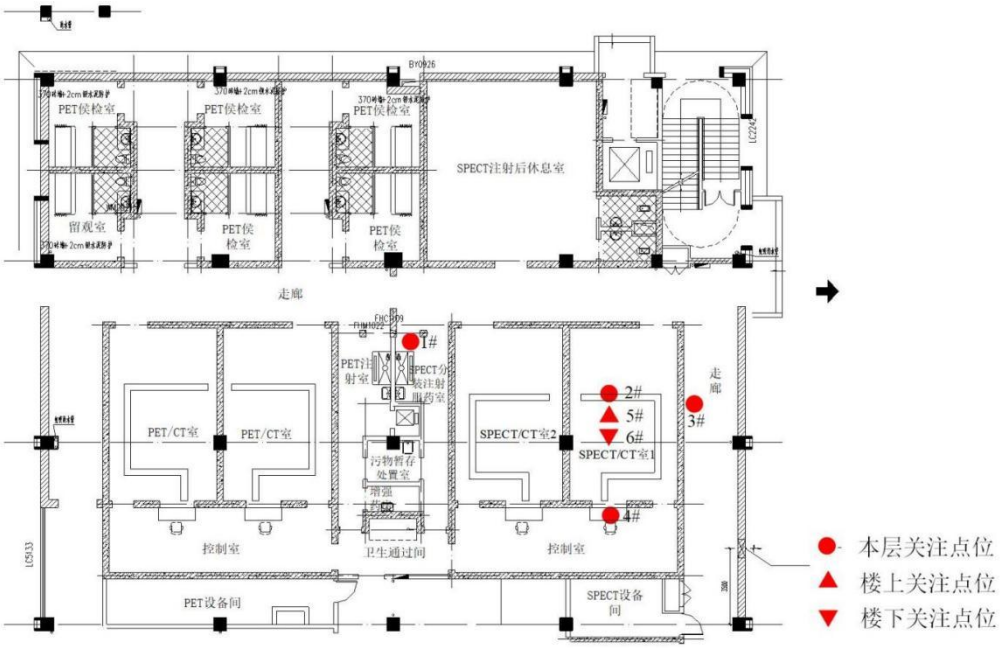


图 11-1　核医学科关注点位图

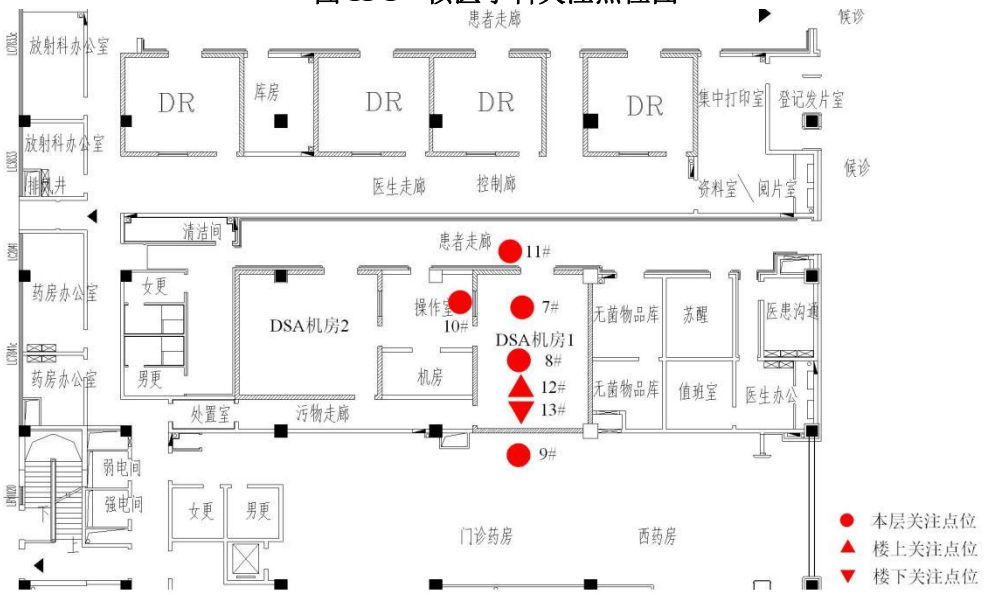


图 11-2　放射科DSA关注点位图

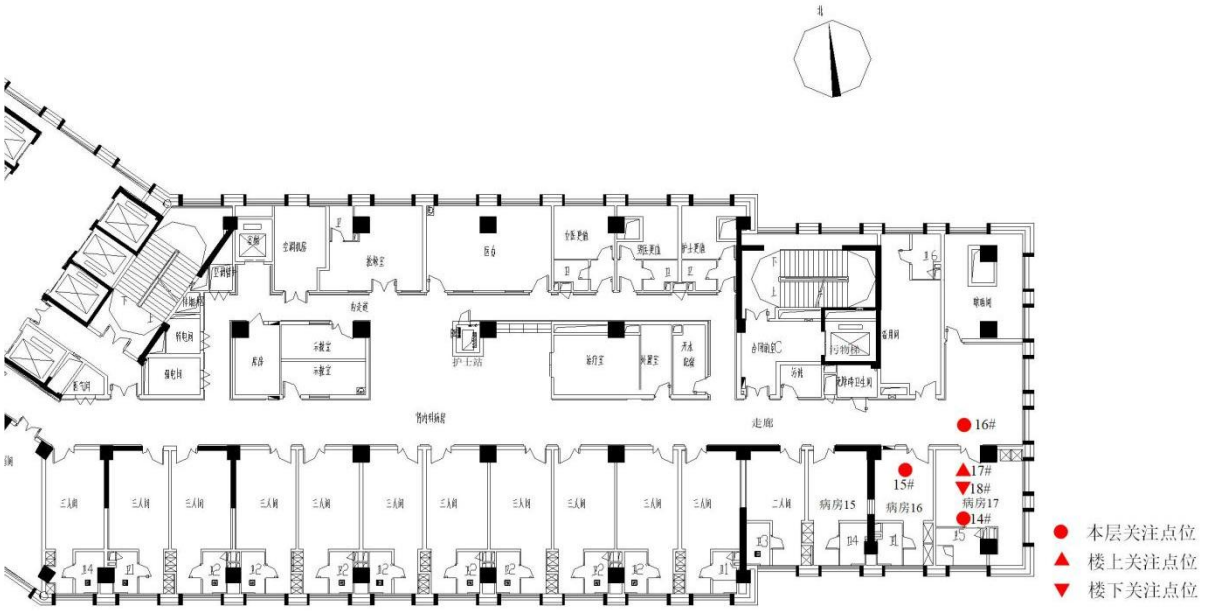


图 11-3　^{90}Y患者专用病房关注点位图

11.2.4射线装置产生的X射线辐射环境影响分析

（1）DSA 产生的 X 射线辐射影响分析

根据《江南大学附属医院医用 X 射线影像诊断设备辐射工作场所检测》，报告编号：GABG-CF21230671-10，取“6.样品编号：21230671006”可知，放射科 DSA 透视工况下，机房六面（包含工作人员操作位）最大辐射剂量率为 0.21μSv/h，与本底值相近，X 射线对机房周边辐射影响很小，因此与“表 11-2 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所韧致辐射剂量率计算结果”中 DSA 机房 1 周边辐射剂量率叠加后也能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm 处剂量率不大于 2.5μSv/h 的要求。

（2）SPECT/CT产生的X射线辐射影响分析

根据《江南大学附属医院单光子发射计算机断层装置（SPECT/CT）辐射工作场所检测》，报告编号：GABG-CF21230671-16，取“样品编号：21230671506”可知，SPECT/CT中CT在 1110MBq的 ^{99m}Tc药物置于室内座椅上的工况下运行，SPECT/CT室 1 六面（包括控制室工作位）所致的最大附加剂量率为 1.65μSv/h（位于受检者防护门外表面 30cm 处，其余点位辐射剂量率接近本底值），与“表 11-2 ^{90}Y肿瘤治疗项目工作场所韧致辐射剂量率计算结果”中SPECT/CT室 1 周边辐射剂量率叠加后SPECT/CT室 1 周边的辐射剂量率最大为 $1.65+3.29\times10^{-2}=1.68$μSv/h，故SPECT/CT室 1 外的辐射剂量率均能够满足《放射诊断放射防护要求》(GBZ 130-2020)中规定的屏蔽体外表面 30cm处剂量率不大于 2.5μSv/h的要求。

11.2.5 工作人员及公众个人剂量估算

（1）工作人员受照剂量估算

根据医院提供的资料，项目正式开展后，医院每周安排一天开展肿瘤治疗项目，每天最多安排 1 名肿瘤患者。^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷见表 11-5。

表 11-5　各工序涉及辐射工作人员情况以及工作负荷一览表

工作场所	人员	操作内容	操作时间	人员数量
SPECT 分装注射服药室	核医学科医护人员	^{99m}Tc 核素测量活度	30 秒/次	7 人
		^{90}Y 核素分装、测量活度、抽取	5 分钟/次	
药物转运		药物转运	5 分钟/次	
DSA 机房 1	DSA 介入医护人员	^{90}Y 核素导管注射	20 分钟/台	共 3 组，每台手术配备 2 名手术医生，1 名护士
		^{99m}Tc 核素导管注射	20 分钟/台	
患者转运		将患者转运至 SPECT/CT 室 1 和病房	30 分钟/人次	
^{90}Y 患者专用病房		病房巡查	30 分钟/人次	
DSA 操作室	DSA 技师	技师在操作间操纵设备进行扫描	60 分钟/台（其中受核素影响时间 20 分钟/台）	3 人
SPECT/CT 室 1	SPECT/CT 技师	指导患者躺至正确的位置	1 分钟/人次	2 人
控制室		技师在操作间操纵设备进行扫描、图像采集	15 分钟/人次	

根据表11-2和表11-4预测的各关注点处辐射剂量率，结合医院预估工作量，关注点处人员居留因子等参数，由式11-3计算即可得到辐射工作人员的年有效剂量，见表11-6。关注点人员的有效剂量由方杰主编的《辐射防护导论》中的公式计算，计算公式如下：

$$D_{Eff}=Dr\times t\times T\times U \quad \text{（式 11-4）}$$

式中：

D_{Eff}——辐射外照射人均年有效剂量，Sv；

Dr——辐射剂量率，Sv/h；

t——年工作时间，h；

T——居留因子；

U——使用因子，U取1。

居留因子参照《放射治疗辐射安全与防护要求》（HJ1198-2021）选取，具体数值见表 11-6。

表 11-6　居留因子的选取

场所	居留因子（T）		停留位置
	典型值	范围	
全停留	1	1	管理人员或职员办公室、治疗计划区、治疗控制室、护士站、咨询台、有人护理的候诊室及周边建筑物中的驻留区
部分停留	1/4	1/2-1/5	1/2：相邻的治疗室、与屏蔽室相邻的病人检查室 1/5：走廊、雇员休息室、职员休息室
偶然停留	1/16	1/8-1/40	1/8：各治疗门 1/20：公厕、自动售货区、储藏室、设有座椅的户外区域、无人护理的候诊室、病人滞留区域、屋顶、门岗室 1/40：仅有来往行人车辆的户外区域、无人看管的停车场，车辆自动卸货/卸客区域、楼梯、无人看管的电梯

表11-7　^{90}Y肿瘤治疗项目工作场所辐射工作人员年有效剂量估算

工作场所	操作	辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	使用因子	年有效剂量（mSv）	
SPECT 分装注射服药室	药物分装测量活度	0.20（1#-^{90}Y）	8.33h（5min/次×100 次/年）	1	1	1.64×10^{-3}	9.28×10^{-3} (1.33×10^{-3}/人)
		4.98×10^{-35}（1#-^{99m}Tc）	0.83h（30s/次×100 次/年）	1	1	4.14×10^{-38}	
	药物转运	0.92（1#-^{90}Y）	8.33h（5min/次×100 次/年）	1	1	7.64×10^{-3}	
		4.48×10^{-6}（1#-^{99m}Tc）	8.33h（5min/次×100 次/年）	1	1	3.74×10^{-8}	
DSA 机房 1	药物注射和介入手术	1.06（7#-^{90}Y）	33.33h（20min/次×100 次/年）	1	1	3.52×10^{-2}	1.69×10^{-1} (5.62×10^{-2}/人)
		1.42（7#-^{99m}Tc）	33.33h（20min/次×100 次/年）	1	1	4.73×10^{-2}	
患者转运	转运	0.81（8#-^{90}Y）	50h（30min/次×100 次/年）	1	1	4.06×10^{-2}	
		9.69×10^{-3}（8#-^{99m}Tc）	50h（30min/次×100 次/年）	1	1	4.84×10^{-4}	
病房 17	查房	**0.87（14#-^{90}Y）**	50h（30min/次×100 次/年）	1	1	4.34×10^{-2}	
		3.06×10^{-2}（**14**-^{99m}Tc）	50h（30min/次×100 次/年）	1	1	1.53×10^{-3}	
DSA 操作室	扫描	6.21×10^{-2}（10#-^{90}Y）	33.33h（20min/次×100 次/年）	1	1	2.07×10^{-3}	2.08×10^{-3} (6.93×10^{-4}/人)
		2.50×10^{-4}（10#-^{99m}Tc）	33.33h（20min/次×100 次/年）	1	1	8.34×10^{-6}	
SPECT/CT 室 1	摆位	0.63（2#-^{90}Y）	1.67h（1min/次×100 次/年）	1	1	1.04×10^{-3}	1.87×10^{-3} (9.34×10^{-4}/人)
		9.69×10^{-5}（2#-^{99m}Tc）	1.67h（1min/次×100 次/年）	1	1	1.62×10^{-7}	
控制室	扫描	3.29×10^{-2}（4#-^{90}Y）	25h（15min/次×100 次/年）	1	1	8.24×10^{-4}	
		1.51×10^{-5}（4#-^{99m}Tc）	25h（15min/次×100 次/年）	1	1	3.78×10^{-7}	
注：通过“表 11.2.4 射线装置产生的 X 射线辐射环境影响分析”，本项目因此不考虑 X 射线对本项目辐射工作人员的影响。							

本项目不新增辐射工作人员，依托核医学科和放射科DSA机房1辐射工作人员开展肿瘤治疗项目。因此本项目工作人员受照剂量需考虑叠加。根据医院最近一年辐射工作人员个人剂量检测报告和医院拟定的本项目辐射工作人员名单，取本项目辐射工作人员个人剂量最大值进行保守估算可得：放射科医护人员年有效剂量最大为1.103mSv，放射科技师年有效剂量最大为0.156mSv；核医学科医生年有效剂量最大为0.239 mSv，核医学科护士年有效剂量最大为1.815 mSv，核医学科技师年有效剂量最大为0.42 mSv。

表 11-8　辐射工作人员年有效剂量叠加估算

序号	人员	本项目所致年有效剂量（mSv）	原岗位所致年有效剂量（mSv）	叠加后年有效剂量（mSv）
1	SPECT 分装注射服药室工作人员	1.33×10^{-3}	1.815	1.816
2	DSA 介入医护人员	5.62×10^{-2}	1.103	1.159
3	DSA 操作室技师	6.93×10^{-4}	0.156	0.156
4	SPECT 控制室技师	9.34×10^{-4}	0.42	0.42
注：由于核医学科和放射科 DSA 机房 1 已投入使用，核医学科和放射科 DSA 机房 1 辐射工作人员原岗位受照剂量来源于最近一年度的《江南大学附属医院放射工作人员个人剂量检测报告》中检测结果。				

叠加后本项目辐射工作人员的年有效剂量最大为 1.816mSv，满足辐射工作人员年有效年剂量约束值不超过 5mSv 的要求。

（4）公众受照剂量估算

本项目年治疗人数为 100 例，每名患者每次接受治疗后需住院观察 2 天，本项目公众年有效剂量估算如表 11-9 所示。

表11-9　^{90}Y肿瘤治疗项目工作场所公众年有效剂量估算

序号	公众类型		辐射剂量率（μSv/h）	年工作时间（h）	居留因子	年有效剂量（mSv）
1	DSA 机房 1 附近公众	南侧门诊药房	3.29×10^{-3}（9#-^{90}Y）	33.33h（20min/次×100 次/年）	1/2	6.44×10^{-5}
			5.76×10^{-4}（9# -^{99m}Tc）	33.33h（20min/次×100 次/年）	1/2	
2	核医学科附近公众	下方放疗科	1.37×10^{-3}（6#-^{90}Y）	25h（15min/次×100 次/年）	1/4	1.6×10^{-5}
			1.19×10^{-3}（6# -^{99m}Tc）	25h（15min/次×100 次/年）	1/4	
3	病房附近公众	北侧走廊	6.70×10^{-2}（16#-^{90}Y）	2400h（24h/次×100 次/年）	1/8	0.02
			2.36×10^{-3}（16# -^{99m}Tc）	2400h（24h/次×100 次/年）	1/8	
注：根据《江南大学附属医院医用 X 射线影像诊断设备辐射工作场所检测》可知，本项目依托原有核医学科和放射科 DSA 机房 1 工作状态下，机房六面辐射剂量率与本底值相近，原有项目的 X 射线对机房周边辐射影响很小，故不考虑对本项目公众的影响。						

由上表可知，本项目开展后，核医学科和放射科 DSA 机房 1 周边、^{90}Y 患者专用病房周边的公众年有效剂量均符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“剂量限值”的要求，也低于 0.1mSv/a 的公众人员年剂量约束值。

综上所述 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所辐射工作人员和周围的公众所受外照射年有效剂量符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中关于“限值”的要求和《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于剂量约束值的要求，也低于本环评要求的年有效剂量约束值即工作人员 5mSv/a 和公众 0.1mSv/a。

11.2.6“三废”影响分析

（1）放射性废气

本项目使用的 ^{99m}Tc 和 ^{90}Y 核素均为外购，单支装，其核素操作均在手套箱内进行，使用过程介质均为液体，操作比较简单，不需要加热、振荡等步骤，操作过程中无开放液面，故不考虑放射性气体或气溶胶的辐射影响。

（2）放射性废水

本项目放射性废水主要为进行 ^{90}Y 树脂微球治疗的患者住院期间产生的排泄物，排泄物中含有 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 核素。

根据生态环境部核与辐射安全中心出具的《钇-90 树脂微球使用过程辐射风险研究报告》，本项目每次手术时患者产生的排泄物量中所含 ^{90}Y 核素活度低于 GB18871-2002 中规定的活度浓度豁免水平，同理含 ^{99m}Tc 核素废水也低于单次放射性废水排放总活度和豁免活度浓度。因此患者尿液可以直接排放。

（3）放射性固体废物

本项目介入手术会产生一次性手套、输液管、患者体内导管、注射器、含有残留药物的西林瓶、V 型瓶及有机玻璃防护罐等放射性固体废物，以及若出现手术过程中核素撒漏，可能产生的吸水纸、去污用纸、医护人员手术服、一次性手套等放射性固体废物。

本项目每年最大开展 100 例 ^{90}Y 肿瘤治疗，参考《钇-90 树脂微球使用过程辐射安全风险研究报告》（生态环境部核与辐射安全中心），放射性固体废物产生量保守按 2kg/例考虑，则本项目放射性固废产生量为 200kg/a。

住院患者产生的废物主要是住院患者产生的医疗废物，按照每人每天按照 0.5kg 产生量进行估算。本项目每年最大开展 100 例 ^{90}Y 肿瘤治疗，每位患者经 ^{90}Y 治疗后需住院 2 天，则患者住院治疗产生的放射性固废的产生量为 100kg/年。综上，本项目放射性

固废产生量为 300kg/a。

每瓶 ^{90}Y 树脂微球为 3×10^9Bq，每周最多使用 2 瓶，患者注射 ^{90}Y 树脂微球量约 2×10^9Bq，剩余的 ^{90}Y 树脂微球作为放射性废物进行处理，产生量最大约 2×10^9Bq/周。手术过程中附着在输液管、患者体内导管等放射性废液量很少。

核医学科 SPECT 分装注射服药室和 DSA 机房 1 内各设置 1 个脚踏式铅桶，核医学科污物暂存处置室设置 1 个放射性废物铅衰变箱。医院拟将上述放射性固体废物收集于工作场所放射性废物桶内专用塑料包装袋，包装袋标明收贮时间、种类及数量等内容。每袋废物的表面剂量率控制在 0.1mSv/h 以下，重量不超过 20kg。装满后的专用塑料包装袋应密封、不破漏，及时转运暂存于核医学科污物暂存处置室的衰变箱内，待含 ^{99m}Tc 核素的放射性固体废物暂存超过 30 天，^{90}Y 放射性固废储存超过十个半衰期，经监测辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm^2 后，对废物清洁解控按医疗固废委托当地有资质单位处置。

本项目一年最大开展 100 例手术，手术量很少，且手术过程中产生的如一次性手套、剩余的 ^{90}Y 树脂微球等放射性固废和住院产生的放射性固废的体积都很小，故新增本项目后，医院核医学科原有污物暂存处置室容积仍能够满足要求。

医院应做到：

①严格区分放射性废物与非放射性废物，不可混同处理，应力求控制和减少放射性废物产生量。

②对所有放射性固体废物采用先收集在各自相关工作场所的铅污物桶内，再将铅污物桶内的固体废弃物连同专用塑料包装袋，转移到核医学科污物暂存处置室的衰变暂存容器内，集中收储一段时间后再分类处理。每次收集时专用塑料包装袋表面应贴上标签，标明物品及最后一天的收集时间，内装注射器及碎玻璃等物品的废物袋应附加不易刺破的外套（如硬牛皮纸外套）。

③放射性废物的收集、暂存和处置应满足《放射性废物安全管理条例》（国务院令第 612 号）的相关规定。

11.3 事故影响分析

11.3.1 辐射事故影响分析

（1）可能发生的事故

主要考虑电离辐射损伤和药物失控对环境的影响。

①DSA 机房 1 或 SPECT/CT 室 1 门灯联锁装置发生故障时，人员误入正在运行的射线装置机房或滞留在机房内，对人员造成误照射。

②由于工作人员操作不熟练或违反放射操作规程或误操作等其他原因致使放射性药物撒漏，造成意外照射和辐射污染。

③由于未及时锁好防护门或保险柜等药物保管工作不到位致使放射性药剂丢失，可能对公众和周围环境造成辐射污染。

④医院未管理好给药后患者，患者给药后随意进出核医学科区域，对周边候诊公众及家属造成辐射影响；患者家属误入核医学科注射后候诊区等高活区，造成意外照射。

（2）工作场所防范措施

①制定完善的操作规范，对操作人员定期培训，使之熟练操作，严格按照操作规范操作，减少药物撒漏事故的发生。若少量放射性物质洒漏，应迅速用吸附衬垫吸干溅洒的液体，以防止污染扩散。若大量放射性物质洒漏，医院应立即封锁相关场所，并向上级有关部门报告，等待专业人员前来处理。事故处理结束后，使用表面污染检测仪对洒漏放射性液态的区域进行表面污染监测，符合国家相关标准后，结束应急状态。事后及时总结经验，形成纸质报告并存档。

②制定和完善放射性核素安全管理制度，设专人负责，做好核素的领取、使用登记工作，确保放射性药物的安全。设置防盗门及报警装置等设施，做好防火防盗工作。

当发生放射性药物丢失事故时，事故发现者应立即报告医院辐射事故应急指挥领导小组，保护现场。领导小组立即启动本单位辐射事故应急预案，疏散现场无关人员，设置警戒区及警示标志；向当地生态环境主管部门、公安部门、卫健委报告，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告单》；协助公安、生态环境和卫健委对丢失放射性药物进行侦查和追缴，力争在最短时间内将放射性物品找回。

③加强放射性废物的管理，对储存的放射性废物在废物桶外标明放射性废物的型、核素种类和存放日期的说明，并做好相应的记录。

④个人防护用品主要包括工作服、工作鞋、帽等基本防护用品，以及铅橡胶围裙、铅防护眼镜等防护用品。工作人员进入控制区必须穿戴放射防护用品，个人计量仪佩戴于铅橡胶围裙内部左胸前。在进行分装及注射放射性药物时穿铅橡胶围裙、戴口罩、手套，必要时戴防护眼镜。尽量利用长柄钳、镊子等工具操作，增加与放射性药物的距离。为病人注射放射性药物时，工作人员手部有一定受照量，操作者应使用注射器屏蔽装置。

科主任负责个人防护用品使用方法培训及个人防护用品的存放、更新工作。

⑤严格按照辐射监测计划进行辐射水平监测，如果控制区各房间辐射水平监测结果表明防护墙外辐射水平偏高，应适当增加防护墙厚度。

⑥将射线装置放置于专用机房内，机房墙体采用混凝土进行屏蔽，观察窗采用铅玻璃，并设置控制廊防护铅门、受检者防护铅门。受检者防护门处安装工作状态指示灯、设置电离辐射警告标志，防护门关闭时，工作状态指示灯亮，警示人员勿入，同时装置操作台处设置急停开关，操作人员可通过急停开关等停机操作来确保人员安全。

⑦工作人员平时必须严格执行各项管理制度，遵守操作规程，进行辐射工作前检查是否已按要求穿戴好各种辐射防护用品，并定期检查设备性能及有关安全警示标志和设施是否正常。对可能发生的辐射事故，应及时采取应急措施，妥善处理，以减少和控制事故的危害影响，同时上报生态环境部门和卫生行政部门，并接受监督部门的处理。

11.3.2 辐射事故应急预案

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》第四十条及《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院应制定辐射事故应急预案，医院应在以后辐射工作开展过程中每年定期进行一次演练，及时进行整改。同时医院应配置必要的应急装备、器材以及应急资金。

医院在落实本次环评提出的环境事故风险防范措施，并落实辐射事故应急预案中提出的各项应急措施和设施的前提下，本项目辐射事故影响可控制在可接受水平内。

表 12 辐射安全管理

12.1 辐射安全与环境保护管理机构的设置

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》的要求，使用II类射线装置的单位，应设有专门的辐射安全与环境保护管理机构，或者至少有 1 名具有本科以上学历的技术人员专职负责辐射安全与环境保护管理工作，并以文件形式明确管理人员职责；从事辐射工作的人员必须通过辐射安全和防护专业知识及相关法律法规的培训和考核；自 2020 年 1 月 1 日起，新从事辐射活动的人员，以及原持有的辐射安全培训合格证书到期的人员，应当通过国家核技术利用辐射安全与防护培训平台报名并参加考核，2020 年 1 月 1 日前已取得的原培训合格证书在有效期内继续有效。

根据上述要求，医院目前已成立专门的辐射安全与环境保护管理机构，并以文件形式明确了管理人员职责。该机构是以高宇峰为组长、杨晓燕等人为组员的辐射安全与防护管理医院放射（辐射）防护领导小组。在院长领导下，负责医院辐射安全与防护管理工作，具体职责如下：

1、制订本院辐射安全与防护工作的计划，定期对突发辐射事故应急预案、各辐射安全与防护制度进行修订，指导辐射事故的应急演练。

2、负责对全院辐射安全与防护工作进行监督，检查各种制度以及防护措施的贯彻落实情况。

3、负责本院放射人员的职业健康体检及档案管理。

4、组织实施放射人员关于辐射安全与防护相关的法律法规及防护知识的培训工作。

5、对全院辐射安全与防护工作的监督检查过程中存在的问题提出整改意见并及时督导。

6、负责放射设备及放射环境的监测及职业病危害放射防护评价符合要求，按上级要求及时变更（更新）、校验辐射诊疗许可证和辐射安全许可证。

7、会同上级有关部门按有关规定调查和处理放射事故，并对有关责任人员提出处理意见。

此外，本项目所有辐射工作人员必须参加由环保部门组织的辐射安全与防护培训，考核合格后方可上岗。辐射培训证书到期人员还必须及时参加五年一次的复训。

12.2 辐射安全管理规章制度

12.2.1 现有情况

1、辐射安全许可情况

医院已根据相关法律、法规及文件的要求，在基本健全各项规章制度和管理机构的基础上，取得了江苏省生态环境厅颁发的《辐射安全许可证》（苏环辐证[00290]），有效期至 2027 年 11 月 10 日），许可的种类和范围：使用III类、V 类放射源；使用 II 类、III类射线装置；生产、使用非密封放射性物质，乙级非密封放射性物质工作场所。

2、辐射防护工作管理工作制度

医院目前已制定的辐射防护工作管理制度有：

（1）辐射安全事故应急预案；

（2）放射防护告知制度；

（3）放射防护管理制度；

（4）放射人员培训、个人剂量、辐射环境监测管理制度；

（5）放射性废物管理制度；

（6）辐射防护和安全保卫制度；

（7）各设备的操作规程；

（8）放射工作人员职责；

（9）核医学科质量保证方案；

（10）放射性同位素与射线装置台账管理办法；

（11）设备检修维护制度；

（12）放射性药品安全使用管理办法。

（13）放射诊疗质量保证制度。

3、个人剂量检定情况

医院现有的辐射工作人员均配备了个人剂量计，个人剂量计至少三个月送检一次，并建立了个人剂量档案，个人累积剂量均未超过标准限值要求。

4、职业健康体检情况

医院已开展职业健康体检工作，辐射工作人员在岗期间的职业健康检查结果：受检人员未见职业健康损害，可继续原放射工作。

5、职业资格培训情况

目前院区所有辐射工作人员取得《辐射安全和防护培训》合格证书，取得辐射安全培训合格证书的人员，应当每五年接受一次再培训。

6、年度评估制度

医院每年底对辐射防护工作进行年度评估，历年工作未发生辐射事故。

12.2.2 规章制度的补充建议

医院本次项目为乙级非密封放射性物质工作场所，新增使用核素 ^{90}Y 和 ^{99m}Tc 用于开展肿瘤治疗项目，根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》、《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》等法律法规要求，医院应对其制定的一系列相关管理制进行补充完善，本报告对各项制度的要点提出以下建议：

（1）操作规程：医院拟根据本项目特点更新操作规程制度，明确操作人员的权限以及操作时必须采取的防护措施，明确工作中的控制措施以及操作程序等。

（2）岗位职责：明确辐射工作人员的岗位责任，并落实到个人，使每一个相关的工作人员明确自己所在岗位具体责任，层层落实。

（3）人员培训计划：明确培训人员、培训周期、培训形式、培训内容、频次等，培训记录建立档案，做到有据可查。本项目建成后，要求组织所有新增的辐射工作人员参加有资质单位的辐射安全和防护知识培训，经考核合格并取得相应资格上岗证后才能上岗，并按每五年一次的要求进行复训，同时应为辐射工作人员建立个人剂量档案和职业健康档案。

（4）监测方案：明确监测频次和监测项目。监测结果定期上报生态环境主管部门。为确保辐射安全，医院应制定监测方案。

（5）事故应急预案：依据《关于建立放射同位素与射线装置辐射事故分级处理和报告制度的通知》（环发【2016】145 号）的要求，医院应根据本项目实际情况，完善辐射安全事故应急预案。当发生辐射事故时，医院应当立即启动辐射事故应急方案，采取有效的事故处理措施，防止事故恶化，并在规定时间内向当地生态环境部门和公安部门报告，造成或可能造成人员超剂量照射时，还应同时报告当地卫生主管部门。

12.3 辐射监测

12.3.1 监测仪器

根据《放射性同位素与射线装置安全许可管理办法》要求，使用放射性同位素和射线装置的单位，应配备与辐射类型和辐射水平相适应的防护用品和监测仪器，包括个人

剂量报警仪、固定式和便携式辐射监测等设备；使用非密封放射性物质的单位还应当有表面污染监测仪；对直接从事使用活动的工作人员进行个人剂量监测和职业健康检查，建立个人剂量档案和职业健康监护档案。

本项目依托放射科 DSA 机房 1 及其配套用房和核医学科工作用房形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所并开展肿瘤治疗项目，并依托放射科和核医学科现有监测仪器进行日常监测。现有辐射工作场所辐射仪器配置情况详见表 12-1。

表 12-1　本项目辐射工作场所辐射监测仪器配置情况

^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所	监测仪器	已配置情况说明	拟新增配置
门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1	X-γ辐射剂量率仪	配置 1 台	/
	表面污染监测仪	/	1 台
	个人剂量报警仪	配置 2 台	/
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备个人剂量计	/
核医学中心楼 1 层核医学科	X-γ辐射剂量率仪	配置 1 台	/
	表面污染监测仪	配置 1 台	/
	个人剂量报警仪	配置 2 台	/
	个人剂量计	每名辐射工作人员配备个人剂量计	/
病房楼 3 层病房 17（^{90}Y 患者专用病房）	X-γ辐射剂量率仪	/	/
	表面污染监测仪	配置 1 台	/
	个人剂量报警仪	/	/
	个人剂量计	/	/

12.3.2 监测计划

（1）个人剂量监测

个人监测主要是利用个人剂量计进行外照射个人累积剂量监测，每名辐射工作人员需佩戴个人剂量计，监测周期为一般为一个月，最长不超三个月（每季度将个人剂量片送往有资质的检测单位进行检测）。

如果在单个季度出现个人剂量超过 1.25mSv 时需进行干预，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，并经本人签字。年剂量超过 5mSv 的管理限制时，暂停该辐射工作人员继续从事放射性作业，并进行剂量异常原因调查，最终形成正式调查报告，经本人签字，并上报当地生态环境主管部门。单年剂量超过 20mSv 标准时，构成辐射事故，按事故应急预案处理，立即启动应急预案，采取必要的防范措施，并在 2 小时内

填写《辐射事故初始报告表》，由辐射事故应急处理领导小组上报当地生态环境主管部门及省级生态环境主管部门。同时上报公安部门，造成或可能造成人员超剂量照射的，还应同时向当地卫健委报告。并及时组织专业技术人员排除事故。配合各相关部门做好辐射事故调查工作。医院须建立个人剂量档案，辐射工作人员调离辐射工作岗位，个人剂量档案要终生保存。

个人剂量检测报告（连续四个季度）应当连同年度评估报告一起作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

辐射工作人员个人剂量档案内容应当包括个人基本信息、工作岗位、剂量监测结果等材料。医院应当将个人剂量档案终生保存。

（2）辐射工作场所及周围环境监测

①年度监测

继续委托有资质的单位对辐射工作场所的周围剂量当量率进行监测，监测周期为1次/年；年度测报告应作为《安全和防护状况年度评估报告》的重要组成内容一并提交给发证机关。

②日常自我监测

定期自行开展辐射监测，制定各工作场所的定期监测制度，监测数据应存档备案。

③监测内容和要求

监测内容：周围剂量当量率；β表面污染水平等、放射性废水、放射性固废。

监测布点及数据管理：监测布点应参考环评提出的监测计划或验收监测布点方案。监测数据应记录完善，并将数据实时汇总，建立好监测数据台账以便核查。

表 12-2　辐射工作场所监测计划建议

工作场所	监测内容	监测点位	监测周期	
			自行监测	委托监测
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（1层核医学科）	β表面污染	工作台、注射窗、手套箱、工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、SPECT/CT分装注射服药室、SPECT分装注射服药室内的源库、SPECT注射后休息室、墙壁及地面等可能污染的位置	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1次/年
	周围剂量当量率	控制区内：手套箱观察窗、操作位、柜身周围（5cm）；屏蔽容器表面5cm及100cm处、手孔位、操作位； 控制区边界：控制区房间防护墙外30cm处、顶棚上方距顶棚地面100cm处、地坪下方距楼下地面170cm处；各房间防护门外及门缝30cm处、观察窗外30cm处、SPECT控制室操作位、管线洞口/通	1次/月	1次/年

		风口		
	放射性固废	污物暂存处置室（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm²）	每次排放前	/
	放射性废水	衰变池排放口（总β≤10Bq/L）	/	每次排放前
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（放射科 DSA 机房 1）	β表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、DSA 机房 1 内部、墙壁及地面等可能污染的位置	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年
	周围剂量当量率	控制区内：屏蔽容器表面 5cm 及 100cm 处、药物注射位； 控制区边界：控制区房间防护墙外 30cm 处、顶棚上方距顶棚地面 100cm 处、地坪下方距楼下地面 170cm 处；各房间防护门外及门缝 30cm 处、观察窗外 30cm 处、DSA 操作室操作位、管线洞口/通风口	1 次/月	1 次/年
	放射性固废	污物暂存处置室（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm²）	每次排放前	/
^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所（^{90}Y 患者专用病房）	β表面污染	工作服、手套、工作鞋、手、皮肤、设备表面、病房内部、墙壁及地面等可能污染的位置	每次工作结束（出现放射性药物洒落应及时进行监测）	1 次/年
	放射性固废	污物暂存处置室（辐射剂量率满足所处环境本底水平，β表面污染小于 0.8Bq/cm²）	每次排放前	/

④监测质量保证

A、制定监测仪表使用、校验管理制度，并利用监测部门的监测数据与本单位监测仪器的监测数据进行比对，建立监测仪器比对档案；也可到有资质的单位对监测仪器进行校核；

B、采用的国家颁布的标准方法或推荐方法，其中自我监测可参照有资质的监测机构出具的监测报告中的方法；

C、制定辐射环境监测管理制度和方案。

此外，医院需定期和不定期对辐射工作场所进行监测，随时掌握辐射工作场所剂量变化情况，发现问题及时维护、整改。做好监测数据的审核，制定相应的报送程序，监测数据及报送情况存档备查。

12.4 环保竣工验收

医院应根据核技术利用项目的开展情况，按照《建设项目竣工环境保护验收暂行办法》（国环规环评[2017]4 号）、《建设项目竣工环境保护验收技术指南 污染影响类》

（生态环境部公告 2018 年第 9 号）的相关要求，对配套建设的环境保护设施进行验收，自行或委托有能力的技术机构编制验收报告，并组织由设计单位、施工单位、环境影响报告表编制机构、验收监测（调查）报告编制机构等单位代表以及专业技术专家等成立的验收工作组，采取现场检查、资料查阅、召开验收会议等方式开展验收工作。建设项目配套建设的环境保护设施经验收合格后，其主体工程方可投入生产或者使用；未经验收或者验收不合格的，不得投入生产或者使用。环保设施的验收期限一般不超过 3 个月；需要对环境保护设施进行调试或整改的，验收期限最长不超过 12 个月。

12.5 辐射事故应急

根据《放射性同位素与射线装置安全和防护条例》和《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》有关规定，医院成立了以曹宏为组长、杨晓燕等人为组员的辐射事故应急处理领导小组，其负责组织、开展辐射事故的应急处理救援工作。

为有效处理核技术利用项目开展过程中可能产生的辐射事故，强化辐射事故应急处理能力，最大限度地控制事故危害，本环评建议医院对各本项目辐射工作场所制定针对性的应急预案，建议制定《^{90}Y 肿瘤治疗项目辐射事故应急方案》，并对原有《辐射事故应急预案》进行修改、完善。

本环评要求医院制定的辐射事故应急预案必须包括下列内容：

（1）应急机构和职责分工；

（2）应急人员的组织、培训以及应急和救助的装备、资金、物资准备；

（3）可能发生辐射事故类别与应急响应措施；

（4）辐射事故调查、报告和处理程序。

（5）辐射事故信息公开、公众宣传方案。

辐射事故应急预案还应包括可能引发辐射事故的运行故障的应急措施及其调查、报告和处理程序。

发生辐射事故时，事故单位立即启动事故应急方案，采取必要防范措施，并在 1 小时内向所在地生态环境部门和公安部门报告，同时按照《放射性同位素与射线装置安全和防护管理办法》相关要求，在 2 小时内填写《辐射事故初始报告表》，造成或者可能造成人员超剂量照射的，同时向卫生部门报告。事故发生后医院应积极配合生态环境部门、公安部门及卫生部门调查事故原因，并做好后续工作。

表 13 结论与建议

13.1 结论

13.1.1 项目概况

本项目依托核医学科工作用房和放射科 DSA 机房 1 及其配套用房形成一个整体的 ^{90}Y 肿瘤治疗项目工作场所并开展肿瘤治疗项目，并将病房楼 3 层东侧病房 17 作为本项目 ^{90}Y 患者专用病房。根据计算，本项目核医学科非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.44×10^{8}Bq，仍为乙级非密封放射性物质工作场所；放射科 DSA 机房 1 及其配套用房非密封放射性核素日等效最大操作量为 2.01×10^{7}Bq，为乙级非密封放射性物质工作场所。

13.1.2 产业政策符合性分析

本项目属于核技术在医学领域内的运用，对照《产业结构调整指导目录（2019年本）》（2021年修订）和《江苏省工业和信息产业结构调整指导目录（2012年本）》（2013年修正），本项目不属于“限制类”或“淘汰类”项目，符合国家和江苏省现行的产业政策。

13.1.3实践正当性分析

本项目的建设可以更好地满足患者就诊需求，提高对疾病的诊治能力。核技术应用项目的开展，对保障人民群众身体健康、拯救生命起了十分重要的作用，因此，该项目的实践是必要的。

医院在核素治疗过程中，对非密封放射性物质的使用将按照国家相关的辐射防护要求采取相应的防护措施，对非密封放射性物质的安全管理将建立相应的规章制度。因此，在正确使用和管理非密封放射性物质和射线装置的情况下，可以将该项目辐射产生的影响降至尽可能小。本项目的建设和运行对受照个人或社会所带来的利益足以弥补其可能引起的辐射危害，该核技术应用实践具有正当性，符合《电离辐射防护与辐射源安全基本标准》（GB18871-2002）中“实践的正当性”原则。

13.1.4选址、布局合理性分析

本项目核医学中心楼位于医院南院区东部，为独栋建筑，1 层为核医学科，2 层为 ^{131}I 治疗中心，负 1 层为放疗科及相关科室办公用房。门诊医技楼和病房楼位于医院南院区西部，均为独栋建筑。核医学中心楼 1 层核医学科、门诊医技楼 1 层放射科 DSA 机房 1 和病房楼 3 层病房 17 均有相对独立、明确的监督区和控制区划分，^{90}Y 肿瘤治

疗项目工艺流程连续完整，核医学科、放射科 DSA 机房 1、病房 17 均有相对独立的辐射防护措施。本项目不毗邻产科、儿科、食堂等部门及人员密集区。

本项目选址满足《核医学辐射防护与安全要求》（HJ1188-2021）中关于核医学科选址的要求，本项目工作场所选址合理。

13.1.5 辐射防护评价

核医学科辐射工作场所四周墙体、顶棚和地坪均采用 30cm 混凝土作为屏蔽材料，各防护门均内衬铅板，观察窗为铅玻璃，其防护铅当量满足防护屏蔽要求，对β射线、γ射线和 X 射线起到了有效的屏蔽。

DSA 机房 1 四周墙体采用 24cm 实心砖+1mm 铅板作为屏蔽材料，顶棚采用 15cm 混凝土+1mmPb 硫酸钡防护涂料作为屏蔽材料，各防护门均采用铅防护门，观察窗为铅玻璃，并配有个人防护用品，其屏蔽厚度及个人防护用品配置均符合《放射诊断放射防护要求》（GBZ130-2020）的要求。

13.1.6 保护目标剂量估算

根据理论计算结果，在做好个人防护措施和安全措施的情况下，本项目对辐射工作人员产生的年有效剂量能够满足职业人员年剂量约束值不超过 5mSv 的要求，对公众产生的年有效剂量能够满足公众人员年剂量约束值不超过 0.1mSv 的要求。

13.1.7 辐射安全措施评价

本项目辐射工作场所入口处、控制区各房间防护门、放射性废物桶表面拟设置电离辐射警告标志，进出口拟设门禁，药物储存室设双人双锁，工作场所设监控系统，为辐射工作人员配备防护用品。

在落实以上措施后，本项目的辐射安全措施能够满足安全防护要求。

13.1.8 辐射管理措施和管理制度评价

医院已成立辐射安全与防护管理领导小组，并指定专人专职负责辐射安全与环境保护管理工作；该院应根据实际情况及本报告要求，制定和完善相关辐射安全管理制度，以适应当前环保的管理要求；医院现有辐射工作人员均已参加由生态环境部门组织的辐射安全与防护培训，并已取得了辐射安全与防护培训的合格证书。该院已对现有辐射工作人员进行了职业健康监护和个人剂量监测，并建立了个人职业健康监护档案和个人剂量档案。

13.1.9 结论

综上所述，医院在落实本报告提出的各项污染防治措施后，将具备其所从事的辐射活动的技术能力和辐射安全防护措施，本项目运行时对周围环境的影响能符合辐射环境保护的要求，故从辐射环境保护角度论证，该项目的建设和运行是可行的。

13.2 建议与承诺

13.2.1 建议

医院应加强辐射安全教育培训，提高职业工作人员对辐射防护的理解和执行辐射防护措施的自觉性，杜绝放射性事故的发生。

13.2.2 承诺

（1）医院承诺按照相关法律法规要求严格履行环评制度、环保验收制度、辐射安全许可制度，加强环保档案管理，由专人或兼职人员负责。

（2）医院承诺加强辐射工作人员的管理，监督人员防护用具的使用。严格按照本报告提出的要求进行辐射工作人员的培训、个人剂量监测、健康检查，并按要求建立保管辐射工作人员档案。

（3）医院承诺制定完善各项辐射安全管理制度和辐射事故应急预案，并监督执行各项制度。按照应急预案处理和上报辐射事故，并及时将应急预案向生态环境主管部门备案。

（4）医院承诺严格执行辐射监测计划，发现问题及时整改。

（5）医院承诺本项目环评审批后，及时重新申领辐射安全许可证。

表 14 审批

下一级生态环境部门预审意见：   经办人：　　公章 年　　月　　日
审批意见：   经办人：　　公章 年　　月　　日